PONTS BIAIS

EN BOIS.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, 26, rue Racine.

NOUVELLES ÉTUDES

DE

CHARPENTE

PAR

J. ADHÉMAR.

PONTS BIAIS

EN BOIS.

Supplément

AU TRAITÉ DES PONTS BIAIS EN PIERRES.

PARIS.

LACROIX-COMON, LIBRAIRE, QUAI MALAQUAIS, 15.

MALLET-BACHELIER, LIBRAIRE, QUAI DES AUGUSTINS, 55.

VICTOR DALMONT, LIBRAIRE, QUAI DES AUGUSTINS, 49.

HACHETTE, LIBRAIRE, RUE PIERRE-SARRAZIN, 14.

1858

PONTS BIAIS

EN BOIS.

SUPPLÉMENT

AU

TRAITÉ DES PONTS BIAIS EN PIERRES.

1. Première étude. Lorsqu'un corps en mouvement en rencontre un autre, s'il glisse sur ce dernier par frottement ou par roulement, il lui communique une partie de la force dont il est animé, et produit alors dans l'ensemble, et dans toutes les parties du corps rencontré, un ébranlement dont l'intensité dépend du rapport qui existe entre les masses des deux corps. Ainsi, lorsqu'un convoi de chemin de fer s'engage sur un pont, le poids quelquefois énorme de la locomotive, des wagons et des objets transportés avec une grande vitesse, donne lieu à une composante horizontale qui agit avec d'autant plus d'énergie que la masse du pont est moins grande, et l'on comprendra facilement pourquoi les ponts en pierre, composés de matériaux qui ont un poids considérable, seront beaucoup moins ébranlés que les ponts en bois, par le passage des trains.

Il faut conclure de là que les ponts en bois ne doivent être adoptés que dans certains cas exceptionnels comme seraient, par exemple, la rareté ou le prix excessif de la pierre comparée à une très-grande abondance de bois, ou quelquefois aussi la nécessité d'établir rapidement un passage provisoire.

D'ailleurs si les ponts biais en pierres doivent être préférés pour les chemins parcourus par les convois, il n'en est pas toujours de même des ponts destinés au passage des piétons ou des voitures ordinaires, et c'est par quelques exemples de cette espèce que nous allons commencer l'étude des ponts biais en bois.

2. Si le pont dont il s'agit ne doit être fréquenté que par des piétons, ou des voitures légères, on peut se contenter de placer au-dessus de la voie que l'on veut traverser, un certain nombre de poutres parallèles disposées comme on le voit sur les **fig. 4** et **10**, **pl. 1.** Il est bien entendu que ces poutres devront être *armées*, ou fortifiées par des doublures, et soutenues, si cela est nécessaire, par des poteaux verticaux ou des colonnes de fonte, **fig. 4.**

3. Si l'espace ne permet pas de placer des colonnes, on soutiendra le tablier par des jambes de force, ou contre-fiches, comme on le voit sur les figures **1**, **3**, **14** et **16.**

4. Ces deux dernières figures sont des projections sur un plan vertical perpendiculaire à la droite CC, **fig. 8** et **9.**

Sur les figures **14** et **16**, les projections de toutes les fermes se confondent en une seule.

La poutre horizontale L, **fig. 14**, et la contre-fiche F, peuvent être considérées comme les deux arbalétriers d'une ferme inclinée, dont la jambe de force A serait le tirant.

La moise pendante M est le poinçon de cette ferme, et la petite moise *m* maintient l'assemblage de la jambe de force A, et de la pièce horizontale D placée comme doublure au-dessous de la poutre ou longeron L.

5. Ces deux dernières pièces peuvent être assemblées et reliées entre elles par des liens en fer, comme on le voit, **fig. 11.**

Enfin, les diverses parties des poutres L ou D pourront être réunies par un trait de Jupiter, **fig. 11**, ou **fig. 17**, par un joint vertical *u*, combiné avec des endentures, des bandes de fer et des boulons.

6. La figure **15** est une coupe par un plan vertical, contenant la droite BB des figures **8** et **9**.

La figure **8** est le plan du pont vu par-dessous, et la figure **9** est vue en dessus.

7. Les cinq fermes qui composent le pont projeté sur les figures **1**, **8** et **9**, seront liées entre elles, d'abord par les solives et par le double plancher dont on voit une partie sur la figure **9**, ensuite par les moises horizontales M′ qui embrassent les jambes de force des cinq fermes, **fig. 8** et **1**.

8. Au lieu de réunir par des moises les jambes de force des cinq fermes on aurait pu, comme on le voit, **fig. 16**, relier entre elles les moises pendantes M, par des moises horizontales M″. Enfin, on comprend que, dans un grand pont, il pourra être utile d'employer les deux méthodes.

9. L'étude de ces moises forme la partie la plus intéressante de la question qui nous occupe.

En effet soient, **fig. 5**, les projections H et H′ d'une partie de la pile d'un pont droit; supposons que le plan rectangulaire H de cette pile soit remplacé par le parallélogramme H″, déterminé par l'obliquité du pont que l'on veut construire. Si l'on veut faire subir à toutes les pièces de la charpente une transformation analogue, il faudra que les pieds rectangulaires A des jambes de force soient transformés en parallélogrammes tels que A″; mais alors chacun des parallélipipèdes rectangles qui formaient ces pièces deviendra un prisme oblique BB′, dont la section par le plan P rabattu en P_1 et projetée sur le plan horizontal, sera un parallélogramme A‴.

Il en résultera, il est vrai, plus de régularité dans l'assemblage des moises avec les jambes de force; mais ces dernières pièces devant être déduites de bois équarris suivant le rectangle R, **fig. 6**, ou R′, **fig. 7**, on perdra toute la force provenant des prismes triangulaires qu'il faudra enlever, et qui sont indiqués sur les figures **6** et **7** par une teinte plus foncée. Par

conséquent on aura sacrifié une garantie évidente de solidité à une régularité d'assemblage plus apparente que réelle.

On ne doit donc pas hésiter à conserver aux jambes de force leur section rectangulaire A^{IV}, **fig. 5**; mais alors on remarquera que les fermes employées dans ce cas ne diffèrent en rien de celles qui conviendraient à un pont droit, de sorte que les faces des pièces de bois qui composent ces fermes, étant parallèles ou perpendiculaires aux plans de têtes du pont, tandis que les faces longitudinales des moises M', **fig. 1** et **8**, sont obliques par rapport aux mêmes plans, il s'ensuit que les jambes de force A, et les moises horizontales M', **fig. 18**, **12** et **13**, se rencontreront obliquement, ce qui introduit dans les assemblages quelques difficultés que nous allons étudier.

10. La planche **2** contient les détails d'épures nécessaires pour tracer les moises horizontales M' du pont qui est projeté sur les figures **1** et **8** de la planche précédente. Les figures **13** et **2** de la planche **2** sont les projections horizontale et verticale d'une partie des deux premières fermes du pont.

Pour obtenir ces projections, on commencera, **fig. 14**, par le plan de la pile, sur lequel on déterminera la distance des fermes et les pieds des poteaux ou moises verticales V, dans lesquels doivent être assemblées les jambes de force A et les contrefiches F, **fig. 2**. On déterminera également, sur la figure **14**, les contours des sablières S, dans lesquelles sont assemblées les moises verticales dont nous venons de parler. Les projections de ces sablières ne sont indiquées sur la figure **14** que par une teinte ponctuée, parce que cette figure est une coupe par le plan horizontal P, **fig. 2**, et que cette projection étant vue par-dessous, la sablière est supposée enlevée.

La perspective, **fig. 12**, fera comprendre comment la sablière S est engagée en partie dans l'épaisseur de la première assise G, au-dessus de la corniche X, **fig. 2**. Les quadrilatères *m* teintés en points sur la figure **12** sont les pieds des moises verticales V.

On construira la projection, **fig. 2**, d'après l'étude d'ensemble que nous supposons avoir été faite sur la figure **1** de la

planche **1**. Il suffira de projeter une seule ferme sur la figure **2** de la planche **2**, et l'on pourra même se dispenser d'y tracer la projection de la moise horizontale M', dont la place et la grandeur ne seront déterminées que par les opérations suivantes. Quand les moises verticales V, la jambe de force A, la contre-fiche F, et la moise pendante M seront projetées sur la figure **2**, on construira les projections horizontales de toutes ces pièces sur la figure **13**, puis on projettera les mêmes pièces, **fig. 4**, sur un plan vertical perpendiculaire à la plus grande face de la pile et par conséquent à la longueur des moises, dont il devient facile alors de déterminer les dimensions. On sera guidé dans cette opération par la quantité plus ou moins grande de bois que l'on veut consacrer à cet usage, et cette quantité dépendra elle-même du plus ou moins de fatigue que le pont doit éprouver.

11. Les faces *ac*, *vu* des moises M', **fig. 4**, sont perpendiculaires sur la projection de la jambe de force A, d'où il ne faut pas conclure que ces deux pièces se rencontrent à angle droit. Leur obliquité est suffisamment mise en évidence par la projection horizontale, **fig. 13**, et l'on conçoit que si l'on avait voulu que les moises fussent perpendiculaires aux jambes de force, il aurait fallu que leurs projections sur la figure **2** fussent parallèles à celles des moises pendantes M. Or, dans ce cas, les jambes de force A des cinq fermes n'auraient pas été moisées à la même hauteur; ce qui, au surplus, est quelquefois utile, comme nous le verrons par la suite.

12. Les moises M' projetées, **fig. 4**, se réduisant à leur section droite *acuv* indiquée par une teinte, on construira leur projection horizontale, **fig. 13**, et si l'on veut, comme exercices, on en déduira la projection verticale, **fig. 2**.

Cela étant fait, et l'épure étant disposée comme nous venons de le dire, on projettera sur la figure **13** les deux parallélogrammes 1-2-3-4, suivant lesquels les faces *ac*, *vu* des moises M', **fig. 4**, sont pénétrées par le prisme rectangulaire qui forme la jambe de force A.

Les sommets de ces deux parallélogrammes seront déterminés sur les arêtes correspondantes de la jambe de force A, **fig. 13**, par des perpendiculaires à la droite A′Z′, menées par chacun des points suivant lesquels les faces *ac*, *vu* des deux moises M′, **fig. 4**, sont percées par les quatre arêtes du prisme rectangulaire qui forme la jambe de force A. Il ne faut pas oublier que la figure **13** est une projection vue en dessous.

Les côtés 1-2, 3-4 des parallélogrammes 1-2-3-4, **fig. 13**, peuvent être vérifiés en abaissant des perpendiculaires par les points suivant lesquels les arêtes horizontales des moises M′, **fig. 2**, sont coupées par les plans projetants qui contiennent les faces HH et NN de la jambe de force A. Cette opération n'a pas été conservée sur l'épure.

13. Quand les deux parallélogrammes 1-2-3-4 seront déterminés sur la figure **13**, on les projettera, **fig. 16**, sur un plan P_1 parallèle aux faces *ac*, *vu* des moises M′, **fig. 4**, et l'on fera tourner cette projection auxiliaire P_1 jusqu'à ce qu'elle soit arrivée dans la position P_2 parallèle au plan horizontal de projection. On obtiendra ainsi dans leur véritable grandeur, **fig. 15**, les deux quadrilatères 1-2-3-4 qui, étant tracés sur les faces correspondantes des deux moises, détermineront les entailles nécessaires pour le passage de la jambe de force A.

La figure **17** est la perspective de la pièce A et de la moise inférieure M′, et la figure 18 représente cette moise toute seule.

14. Pour ne pas compliquer l'épure, nous n'avons pas indiqué d'embrèvements sur les projections de la jambe de force, parce que ces coupes se déduisent facilement, sur le chantier, de celles que nous venons de déterminer par l'opération précédente.

En effet, il suffira de réserver, en creusant les entailles des moises, une épaisseur de bois égale à la profondeur de l'embrèvement que l'on veut obtenir; embrèvement que l'on doit faire peu profond, afin de ne pas affaiblir la jambe de force A.

15. La section des moises par le plan vertical P_3 **fig. 15**,

sera déterminée sur la figure **15**, par les perpendiculaires abaissées des points suivant lesquels ce plan P_3 est percé par les arêtes horizontales des moises M'. Le résultat de cette opération ne pouvant pas être obtenu sur l'épure, nous supposerons que le plan P_3 est transporté en P_4 et nous obtiendrons alors les deux droites 9-10, 11-12, **fig. 15**, ce qui suffira pour tracer les coupes obliques qui forment les extrémités des deux moises M'. Les projections des points correspondants du plan P_3 sur les arêtes horizontales des moises M', **fig. 2**, détermineront sur cette projection les extrémités des deux moises.

16. Les boulons indiqués sur toutes les figures, indiquent suffisamment comment les moises seront assemblées. Si l'on craint que la force de ces pièces soit diminuée par un trop grand nombre de boulons, on pourra remplacer quelques-uns d'entre eux par des liens (5).

17. On peut encore augmenter la force des moises en les écartant comme on le voit, **fig. 7**. Ce qui diminue la profondeur des entailles pratiquées par le passage de la jambe de force; mais alors, pour éviter le fouettement, on placera de distance en distance, et surtout dans le voisinage de la pièce moisée, des tasseaux ou coins T, **fig. 7** et **6**.

18. Nous avons dit, au numéro 8, qu'au lieu de moiser les jambes de force A, **fig. 14**, **pl. 1**, on préférait quelquefois relier entre elles les moises pendantes M par des moises horizontales M″M″, **fig. 16**. Dans ce cas, on pourra placer les faces latérales des moises M″ perpendiculaires aux projections des moises M. Mais cette disposition n'est pas obligatoire et l'on peut aussi, comme cela est indiqué sur la figure **4** de la planche **2**, appuyer les faces principales des moises M″ sur les arêtes de la jambe de force A.

Cette méthode serait surtout convenable si l'on voulait, comme cela arrive quelquefois, que les moises pendantes fussent embrassées au-dessus et au-dessous de la jambe de force par les deux couples de moises M″ et M‴, **fig. 4**.

C'est la disposition précédente que nous allons adopter pour deuxième étude des moises ; et pour simplifier l'épure, nous ne projetterons sur la figure **13** que les moises qui sont indiquées sur la figure **4** par une teinte de point. Cela suffit, car il évident que les moises M‴, indiquées sur la même figure par un simple trait ponctué, se construiraient de la même manière.

Pour déterminer les entailles des moises M″, on projettera dabord les moises pendantes M sur le plan horizontal, **fig. 13.** Cette projection se déduira de la figure **2** par les moyens ordinaires ; puis on projettera les mêmes moises sur la figure **4**, et l'on déterminera sur cette projection les dimensions des moises M″ que l'on veut construire.

On abaissera ensuite une perpendiculaire à A′Z′, par chacun des points suivant lesquels les faces des deux moises M″ sont percées par les quatre arêtes extérieures des deux moises pendantes M, **fig. 4.** Cette opération déterminera sur les faces verticales de ces deux moises, **fig. 13**, les huit sommets des deux parallélogrammes 5-6-7-8, suivant lesquels les deux faces 6-7 des moises horizontales M″, **fig. 4**, sont pénétrées par les deux moises pendantes M. Cela étant fait, on projettera, **fig. 8**, tous les sommets des deux parallélogrammes que l'on vient d'obtenir sur un plan P_5 parallèle aux faces 6-7 des deux moises M″, et l'on fera tourner le plan P_5 autour de l'horizontale projetante du point Q, jusqu'à ce qu'il soit arrivé dans la position horizontale P_6 On obtiendra ainsi la projection, **fig. 9**, et par suite les deux quadrilatères 5-6-7-8 suivant lesquels les moises pendantes M, **fig. 4**, pénètrent dans les faces 6-7 des moises horizontales M″.

La coupe oblique des moises M″ par le plan vertical P_3 pourra être obtenue comme nous l'avons dit au numéro **15**, en supposant que ce plan P_3 est remplacé par le plan vertical P_7 parallèle au premier.

19. On remarquera sans doute, **fig. 9**, que, dans le cas actuel, les quadrilatères 5-6-7-8 sont des rectangles compris entre les deux droites parallèles LL, EE. Cela provient de ce que les deux faces LL, EE de la moise M, **fig. 2**, sont perpendicu-

laires sur l'arête HH de la pièce A, et par conséquent, **fig. 4**, sur les faces parallèles 6-7 de la moise M″, puisque l'une de ces faces contient l'arête HH.

20. Si l'on veut augmenter l'épaisseur du bois compris entre les angles 7 et 6 des quadrilatères de pénétration, **fig. 9**, et les faces externes des moises, on emploiera le moyen qui est indiqué sur les figures **7** et **6**.

21. Enfin, si l'on voulait faire un embrèvement, il faudrait éloigner un peu les moises M″ et M‴ de la jambe de force A, comme on le voit, **fig. 5**. Car, si l'on faisait passer l'une des faces 6-7 de ces moises par le point *o* qui appartient à l'arête HH de la jambe de force A, **fig. 4**, il ne resterait plus assez d'épaisseur entre ce même point *o*, **fig. 5**, et la face U de la moise M″.

22. Les deux épures que nous venons d'étudier, **pl. 1** et **2**, contiennent tous les détails nécessaires à la construction du pont qui est projeté sur la figure **1** de la planche **1**. En effet, les dimensions des piles, la hauteur, la largeur du pont, la disposition du plancher, du tablier et des trottoirs, seront données par la planche **1**; et la planche **2** contient tous les détails d'assemblage des pièces de charpente qui doivent entrer dans la construction des fermes. Ainsi, les figures **1**, **2** et **11** donneront les dimensions en équarrissage et en longueur de la jambe de force A. Les figures **2** et **3** expriment celles de la contre-fiche F.

Les figures **2** et **13** détermineront les épaisseurs, largeurs et longueurs des moises pendantes M. La figure **14** donne l'équarrissage des poteaux ou moises verticales V. Enfin, les entailles à creuser dans les moises horizontales M′ ou M″ seront déterminées par les figures **15** ou **9**.

23. Deuxième étude des ponts biais en charpente. Pour sujet de cette deuxième étude, nous ferons une application du système qui avait été adopté par M. Clapeyron, ingénieur du chemin de fer de Saint-Germain, pour le pont construit à

Asnières. Ce pont, brûlé en 1848, a depuis été remplacé par un pont en tôle.

24. Le but que je me propose dans l'ouvrage actuel étant surtout d'exposer les méthodes générales, je ne crois pas devoir m'assujettir à la reproduction rigoureusement exacte des ouvrages exécutés. Il peut arriver, d'ailleurs, que les dimensions de ces ouvrages ne soient pas favorables à la disposition d'épure qui conviendrait le mieux pour l'explication des principes.

Ainsi, la figure **5** de la planche **3** n'est pas une représentation fidèle du pont d'Asnières, mais une application du même principe à un autre exemple.

Cela étant admis on reconnaîtra, par la figure **17**, que le pont dont il s'agit contient six fermes également espacées. Mais, s'il est destiné au service d'un chemin de fer, il sera préférable de régler l'écartement des fermes comme nous l'avons dit au numéro 442 (*Ponts biais en pierre*); c'est-à-dire que les deux fermes extrêmes formeraient les têtes du pont, tandis que chacune des quatre fermes intermédiaires serait placée exactement au-dessous d'une ligne de rails; d'où il résulte que, pour un chemin à trois voies, le pont devra contenir huit fermes.

L'arc intérieur de chaque ferme se compose, **fig. 5**, de trois cours de poutres cintrées à la hache, ou courbées à la vapeur. Ces trois cours de courbes sont liés aux longerons qui supportent le plancher, par quatorze moises pendantes dont les places résultent de considérations que nous allons développer.

Les six fermes qui composent la charpente du pont étant disposées comme on peut le voir sur la projection horizontale, **fig. 17**, il ne reste plus qu'à trouver le meilleur moyen de les contreventer.

25. Tous les systèmes de ponts biais en charpente se rattachent au principe des arcs droits disposés en retraite, et la partie importante de la question à résoudre consiste principalement dans les moyens employés pour relier entre elles les fermes droites qui composent la charpente du pont.

Dans l'exemple que nous avous étudié sur les planches **1** et **2**, les fermes ont été réunies par des moises horizontales parallèles à la direction des piles; mais alors, les arbalétriers ou jambes de force des fermes sont rencontrées par ces moises, suivant des angles qui dans certains cas pourraient être très-aigus. Or c'est précisément cette acuité que l'on a voulu éviter, ou au moins diminuer dans l'exemple que nous étudions actuellement; et pour y parvenir, on a placé les moises comme on le voit, **fig. 5**, c'est-à-dire que les deux couples correspondants de moises transversales et toutes les moises pendantes qu'elles embrassent forment un pan de bois perpendiculaire au plan vertical de projection. L'un de ces pans de bois est projeté et rabattu en vraie grandeur sur le plan horizontal, **fig. 20**.

26. Si l'on regarde la figure **5**, on reconnaîtra que les moises pendantes ne rencontrent pas, suivant des angles droits, les diverses parties de la grande courbe qui forme le cintre de la ferme; mais la condition dont nous venons de parler ne pouvait pas être obtenue dans le cas actuel; car une moise qui serait perpendiculaire sur la courbe de la première ferme ne serait pas perpendiculaire sur les autres, et réciproquement. Pour diminuer autant que possible les angles aigus que l'on aurait rencontrés dans ce cas, le constructeur du pont d'Asnières a employé le principe connu en coupe de pierres sous le nom de *biais passé*, c'est-à-dire qu'il a placé les moises pendantes perpendiculaires à la courbe d'une ferme réelle ou imaginaire dont le plan P, **fig. 17** et **20**, partagerait la largeur du pont en deux parties égales. Par suite de cette disposition, les moises sont à peu près perpendiculaires sur toutes les courbes qui forment le cintre intradossal des fermes.

27. La place des moises est en outre déterminée par cette condition, qu'elles partagent en parties égales la courbe située dans le plan P; car, si on les plaçait à égale distance sur l'un des arcs de tête, elles seraient trop inégalement espacées sur l'arc opposé; tandis que si les moises partagent en parties égales

la courbe située dans le plan P, **fig. 17** et **20**, les inégalités d'écartement sur les têtes seront beaucoup moins sensibles.

28. La disposition précédente donne lieu à une irrégularité d'assemblage qu'il est très-essentiel de signaler. En effet, si l'on fait abstraction de l'épaisseur des fermes, les arêtes inférieures des grandes courbes sont des arcs de cercles égaux et parallèles, dont les centres, situés sur l'axe de la voûte intérieure du pont, auraient leurs projections verticales à environ cinq centimètres au-dessous du cadre de l'épure. Le lieu qui contient tous ces arcs sera donc une surface cylindrique du second degré, ayant pour directrice l'un des arcs qui forment les arêtes inférieures des grandes courbes.

Or, la section de cette surface cylindrique par un plan P_1 perpendiculaire à la tête du pont, **fig. 5**, sera un arc d'ellipse *mon*, **fig. 20**, tandis que la section de la moise, correspondante par le même plan, sera une ligne droite qui ne pourra toucher qu'en deux points *m* et *n* l'arc elliptique dont nous venons de parler; de sorte que la moise inférieure ne touchera que deux des grandes courbes dont l'ensemble forme l'intrados du pont.

Cette relation est rendue plus sensible par les figures **21** et **22**, sur lesquelles on a exagéré avec intention la courbure et le biais du pont. Les piles étant indiquées sur la figure **22** par des teintes ponctuées, et l'arc de tête, **fig. 21**, étant une demi-circonférence, la section par le plan P_2 sera une demi-ellipse *am'o'n'u's'c*, que l'on peut facilement construire en déterminant les points suivant lesquels le plan P_2 rencontre les cinq demi-circonférences qui remplacent ici les grands arcs de la figure **5**, ou bien en remarquant que cette demi-ellipse a pour ses deux rayons conjugués les droites *va*, *vu'*, **fig. 22**. Ou enfin, en déterminant les axes par le moyen que j'ai indiqué au numéro 106 du supplément au *Traité de Géométrie descriptive*, 3e édition.

La section par le plan P_2 **fig. 21**, étant rabattue sur le plan horizontal de projection, **fig. 22**, on obtiendra la demi-ellipse *amonusc* dont la partie *mon* seulement appartient à l'intrados de la voûte projetée sur la figure **21**. On voit par ce rabattement,

sur lequel les moises pendantes sont désignées par un simple trait, que la moise transversale intérieure *mn* ne touchera que les deux arcs de tête du pont, tandis que la moise extérieure, parallèle à la première, ne touchera qu'en un point *x* l'arc d'ellipse suivant lequel le plan P_2 de la figure **21** rencontre le cylindre extérieur formé par les extrados des arcs ; de sorte que si le nombre des fermes est impair, la moise transversale extérieure s'appuiera sur l'extrados de l'arc qui appartient à la ferme moyenne *vx*, et si le nombre des fermes est pair, elle s'appuiera sur les deux arcs moyens, comme cela est indiqué sur la figure **20**.

29. L'irrégularité d'assemblage que nous venons de signaler est peu importante pour la solidité du pont ; car la stabilité des grandes courbes dépend surtout de la précision avec laquelle elles seront embrassées par les moises pendantes, tandis que les moises transversales, n'ayant d'autre but que de contreventer les fermes, on pourrait, sans qu'il en résultât aucun inconvénient, les éloigner des grands arcs.

30. Indépendamment des moises transversales, les six fermes sont encore liées entre elles et contreventées par des croix de Saint-André, assemblées dans les moises pendantes au-dessus des moises transversales supérieures, **fig. 20**.

31. Cette projection ou herse, très-utile pour piquer les bois sur le chantier, sera facilement obtenue en projetant toutes les pièces, **fig. 5**, sur le plan P_1 parallèle aux moises pendantes et transversales du pan de bois que l'on veut exécuter. Cette projection est rabattue sur l'épure, en tournant autour de l'horizontale projetante du point O. La figure **19** est la projection de la moise transversale inférieure sur le plan qui contient la face MN, **fig. 20**. Les différents points de cette figure sont déduits de leurs projections sur la figure **20**, et les largeurs sont déterminées en projetant les points correspondants de la figure **5** sur le plan P_4 que l'on ramènera dans la posi-

tion P_5 en le faisant tourner autour de la charnière de rabattement *e*.

32. Il est évident que les lignes projetantes perpendiculaires à P_4 ne sont tracées ici que pour lier les opérations et compléter l'explication de l'épure ; car tous les ingénieurs savent que dans les applications on supprime souvent un grand nombre de lignes qui peuvent être déterminées directement sur le chantier, sans qu'il soit nécessaire de les tracer sur l'épure.

Ainsi, par exemple, on peut facilement piquer et tracer tous les assemblages du pan de bois qui est projeté sur la figure **20**, sans construire sur l'épure une projection complète des moises et des croix de Saint-André. Pour cela, on établira sur le chantier les six moises pendantes dont les longueurs sont données par leurs projections, **fig. 5**. On déterminera le point *m* sur la première moise, et le point *n* sur la dernière, en prenant sur la figure **5** les distances de ces deux points à un plan quelconque P_6 perpendiculaire au pan de bois que l'on veut construire. Cette opération suffira pour déterminer l'angle suivant lequel les moises transversales rencontrent les moises pendantes, et pour tracer les coupes d'assemblage, sans qu'il soit nécessaire de construire la figure **19**.

Les deux moises transversales MN et M'N' étant identiques se construiront de la même manière ; enfin, il suffira de placer les croix de Saint-André sur le chantier pour en tracer les assemblages.

33. Il résulte de ce que nous venons de dire, que le tracé d'un pan de bois formé par les six moises pendantes, et par les deux moises transversales correspondantes, se réduit à la recherche de l'angle suivant lequel ces moises se rencontrent ; d'où l'on peut conclure un moyen très-expéditif de tracer toutes les moises transversales.

On établira sur le chantier, **fig. 14**, six moises pendantes, ou simplement six madriers d'une longueur quelconque, ayant chacun la largeur et l'épaisseur de deux moises pendantes réunies. On déterminera bien exactement, entre ces pièces, les

distances qui doivent exister entre les fermes dont elles font partie; puis, si nous supposons que l'on veut tracer les moises MN du pan de bois H, **fig. 5**, on placera le point *m* à volonté, **fig. 14**, sur la droite *ms* suivant laquelle la première moise pendante est coupée par le plan qui contient la face intérieure des pièces courbes de la première ferme. On déterminera ensuite le point *n* sur la face extérieure des grands arcs de la sixième ferme, en faisant la droite *un* de la figure **14** égale à la droite *u'n'* de la figure **5**.

En opérant de la même manière, on déterminera les angles que toutes les moises transversales font avec les moises pendantes, sans qu'il soit nécessaire d'indiquer sur la figure **14** les longueurs de ces dernières moises, que l'on déterminera sur le chantier, lorsque l'on piquera les pièces de chaque pan de bois.

La figure **14** ne contient que neuf moises transversales; savoir : huit moises intérieures, et une seule moise extérieure appartenant au pan de bois vertical qui contient le centre de la voûte.

Les sections des grands arcs et des longerons n'ont été tracées que pour le pan de bois qui contient la moise RS; enfin, les huit moises transversales tracées sur cette figure suffisent pour construire toutes les autres :

1° Parce que les deux moises de chaque pan de bois sont identiques;

2° Parce que les deux moises transversales qui appartiennent à l'un des pans de bois situés à droite du plan vertical P_7 **fig. 5**, sont identiques, en les retournant, aux deux moises transversales du pan de bois qui occupe le même rang à gauche du plan P_7

34. On remarquera sur les figures **14**, **15** et **17**, quelques moises transversales plus courtes que les autres; ce qui provient de ce que la pile ne permet pas de les prolonger. Ainsi, la moise inférieure du premier pan de bois transversal n'embrasse que deux moises pendantes, tandis que la moise supérieure en embrasse trois, et que la moise inférieure du second pan de bois embrasse quatre moises pendantes.

Quand toutes les moises transversales seront déterminées de longueur et d'inclinaison, comme on le voit sur la figure **14**, on pourra tracer tout le reste sur le chantier, sans qu'il soit nécessaire de faire une épure particulière pour chaque pan de bois.

35. Embrèvement. Les moises extérieures s'appuient sur les grandes courbes, tandis que les moises inférieures ne sont soutenues que par leur assemblage avec les moises pendantes. Or, si la sécheresse fait contracter le bois, les assemblages prendront du jeu et les moises inférieures tomberont. Il est donc nécessaire de les rattacher aux moises pendantes par des boulons B, **fig. 20**, ou par des embrèvements, comme on peut le voir sur la figure **8**, qui est une coupe par le plan P_9 de la figure **10**.

36. On sait que toutes les forces qui agissent d'une manière constante ou accidentelle sur les diverses parties d'une ferme, se composent en deux résultantes qui seraient appliquées aux pieds des arbalétriers. D'où il faut conclure que ces points doivent attirer toute l'attention des ingénieurs. Je ne sais pas exactement comment cette partie de la question avait été résolue dans la construction du pont d'Asnières. M. Émy, dans son *Traité de charpente*, donne une épure d'application du système que nous étudions. Il dit bien qu'il a eu entre les mains les dessins de M. Clapeyron; mais il ajoute qu'il s'en est écarté d'une manière sensible : et j'ignore si, parmi les détails qu'il a conservés, il faut compter les assemblages des grands arcs avec les assises de la pile.

Dans tous les cas, cette partie importante de la question ne me paraît pas suffisament développée dans l'ouvrage de M. Émy. La figure **7** représente la méthode qu'il indique. Il coupe les quatre cours de courbes qui forment le cintre de chacune des fermes, par un plan P_{10} perpendiculaire à la tangente au pied de l'une des courbes; puis il taille dans les premières assises, au-dessus du bandeau de la pile, les faces inclinées sur lesquelles viennent s'appuyer, *sans aucun lien apparent*, les extrémités inférieures des grandes courbes.

Si l'on adopte cette disposition, la pile devra être profilée suivant la ligne brisée *bcadefh*. Dans un pont droit construit à Ivry, M. Émery, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a coupé les abouts des arcs par une suite de plans normaux *ac*, **fig. 11**; puis il a encastré les pieds de ces arcs dans l'épaisseur de la maçonnerie, ce qui l'a dispensé de briser les arêtes verticales *au* de la pile.

37. On peut combiner les deux méthodes en opérant comme cela est indiqué sur la figure **16**. Ainsi, on coupera les angles aigus de la pile par les plans verticaux EF, perpendiculaires aux plans de tête, et l'on remplacera les angles obtus par les angles droits H. Par ce moyen les fermes des têtes seront assemblées comme celles d'un pont droit dans les faces verticales EF et KH perpendiculaires à leur direction.

Quant aux quatre fermes intermédiaires, on adopterait la disposition indiquée sur la figure **7**, c'est-à-dire que les deux rectangles ACAC, **fig. 16**, seraient deux plans inclinés que l'on entaillera pour former les faces destinées à recevoir les pieds des grands arcs, et la pile serait alors réduite à l'espace compris entre les deux plans verticaux qui ont pour traces les lignes CC. J'ai cherché à faire comprendre cette disposition par la figure **3**, qui contient en perspective les pieds des deux premières fermes du côté de l'angle E de la pile.

38. Il est bien entendu que les angles rentrants indiqués sur la projection horizontale de la pile, **fig. 16**, ne doivent exister qu'au-dessus du bandeau; et que la partie inférieure de la pile doit être appareillée, comme cela est indiqué sur le plan par un trait ponctué. On sait qu'une solution de continuité dans les faces latérales de la pile suffirait souvent pour donner lieu à des courants qui, par suite de leur obliquité, seraient de nature à dégrader les fondations.

39. Les faces verticales VU, prolongées dans toute la hauteur comprise entre le plan horizontal qui contient les points C, et le plancher du pont recevraient les abouts des moises et des

croix de Saint-André qui sont interrompues par la face verticale CC de la pile. En construisant sur la figure 5 les traces des plans verticaux HK, RS, VU, on déterminera les pénétrations dans les faces verticales de la pile.

40. Si l'on faisait pénétrer directement les pièces de bois dans la maçonnerie, comme on le voit, **fig. 33**, il existerait au point A de la pierre un angle très-aigu, qui n'opposerait qu'une très-faible résistance; et dans ce cas, pour éviter les éclats, il vaut mieux abattre la partie triangulaire VAU, comme on le voit, **fig. 3**. Mais cette disposition sera dangereuse, si aucun assemblage ne garantit les pieds des cintres contre l'échappement qui pourrait résulter d'une secousse imprévue, ou d'un choc oblique, tel, par exemple, que celui qui proviendrait d'un ouragan, d'une débâcle, ou de la chute d'une locomotive.

La solution que j'ai indiquée sur la figure **16**, fait disparaître cet inconvénient pour les fermes des têtes qui sont engagées dans les faces verticales EF et HK de la pile; mais le danger subsiste toujours pour les fermes intermédiaires, qui ne sont appuyées sur la maçonnerie que d'un côté IS.

41. Pour ne rien négliger de cette partie importante du problème à résoudre, j'ai cru devoir étudier un assemblage qui me semble réunir toutes les conditions de sécurité.

La figure **35** est la projection horizontale d'une pierre de l'assise qui est placée immédiatement au-dessus du bandeau. Les pieds des trois cours de courbes formant le cintre de chaque ferme, viennent aboutir sur la face inclinée *m* d'un sabot en fonte dont la coupe est indiquée sur la figure **34** par une teinte de points, et dont la perspective, **fig. 27**, fera comprendre la forme.

Les cuvettes rectangulaires désignées sur les figures **29** et **30** par la lettre C sont destinées à recevoir les pieds des deux moises verticales. V. **fig. 29**.

Ces moises embrasseront non-seulement les parties *m* et *n* du sabot **fig. 27**, mais encore les trois cours de courbes qui forment le cintre de la ferme correspondante.

Ce sabot sera engagé dans la pierre comme on le voit,

fig. 28. La pression exercée par les courbes sur le plan incliné *m* fixera d'une manière invariable la position du sabot, qui, de son côté, retiendra les pieds des moises verticales V, et ces moises, à leur tour, garantiront les pieds des grandes courbes contre toutes les chances d'échappement dont nous avons parlé plus haut.

On pourrait augmenter l'épaisseur des moises comme cela est indiqué sur la figure **29** par les lignes ponctuées *e*, mais il vaut mieux laisser libre cet espace entre la moise V et la face verticale IS du mur, **fig. 32** et **35**; d'abord, pour faciliter la manœuvre de l'écrou, si l'on veut placer la tête du boulon en dehors, comme on le voit, **fig. 32**; ensuite, pour aérer les bois, et les garantir de l'humidité qui pourrait résulter de leur contact immédiat avec le mur. On devra également, pour ce motif, **fig. 35**, augmenter la largeur de l'encastrement destiné à recevoir la partie D des courbes, **fig. 34**. Enfin, on laissera dans le sabot un passage pour l'écoulement des eaux qui pourraient s'introduire sur la surface des arcs A et des moises verticales V.

La figure **18** indique l'assemblage des moises V avec les croix de Saint-André N et les moises pendantes M, qui ne pourront pas être prolongées jusqu'aux longerons qui soutiennent le plancher.

La branche N de la croix de Saint-André sera comprise entre les moises V; mais il ne pourra pas en être de même des moises pendantes M, dont les faces verticales sont dans les mêmes plans que celles des moises V. Dans ce cas, on pourra relier toutes ces pièces par un soliveau S, que l'on boulonnera avec les quatre moises V et M comme cela est indiqué sur la figure.

Les figures **12**, **13**, **1** et **2** compléteront l'explication de ce qui précède.

La figure **12** est une projection sur un plan vertical parallèle à la plus grande dimension de la pile, et la figure **1** est une projection parallèle au plan de tête. Pour construire cette dernière projection, j'ai supposé, **fig. 2**, que toutes les fermes se mouvant parallèlement à elles-mêmes, étaient amenées dans le plan de la première, ce qui m'a dispensé de construire sur la figure **2** la projection entière de la pile.

42. Pose des fermes. Si le pont n'a pas une grande portée, on pourra construire entièrement chaque ferme sur le chantier et la lever ensuite pour la mettre en place; mais, s'il s'agit d'un grand pont, on devra successivement assembler toutes les parties sur un cintre disposé pour cet usage. Dans ce cas, on commencera par entailler les piles dans toute la hauteur comprise entre la naissance et le plancher, suivant le contour ISRO de l'encastrement destiné à recevoir les deux moises verticales V, **fig. 34, 35, 31** et **32.**

On creusera dans les premières assises, l'espace qui doit être occupé par la partie *m* du sabot, **fig. 28**, et par les extrémités D des grands arcs, **fig. 34.**

On placera le sabot comme on le voit sur les figures **28** et **34**, et l'on posera successivement, **fig. 31**, la moise verticale V, les premières pièces A des grands arcs, et la seconde moise V'. Puis on boulonnera les deux moises verticales comme on le voit **fig. 31**, et **29** en plaçant entre elles une cale destinée à détruire le fouettement.

Si l'on ne veut boulonner les moises qu'après leur pose, on placera la tête du boulon comme on le voit, **fig. 32**; mais, avant de l'enfoncer, on tiendra l'écrou au moyen d'une pince, et lorsque le tout sera en place, on tournera l'écrou avec une clef anglaise.

Si l'on veut au contraire que la tête du boulon soit du côté de la face IS de l'encastrement, **fig. 35**, on commencera par boulonner les deux moises V et V' que l'on mettrait en place, en les faisant descendre comme on le voit, **fig. 29**; après quoi, on serrera les boulons d'une manière définitive. Dans tous les cas il faut toujours se réserver la faculté de resserrer les boulons, si la contraction des bois rendait cette opération nécessaire.

43. Si l'on ne pense pas que les pieds des grands arcs soient assez solidement maintenus par le sabot et les moises verticales, on pourra placer un ou plusieurs boulons intermédiaires entre le boulon B et le sabot; mais toutes les vibrations, se

composant en résultantes tangentes aux pieds des grandes courbes, on pourrait craindre que les boulons, agissant comme des coins, ne fissent fendre les arcs dans le sens de leurs fibres, et peut-être vaudrait-il mieux augmenter l'équarrissage des moises et les dimensions du sabot.

On réunira les pièces courbes qui forment les cintres par des joints plans, perpendiculaires à leur direction; et pour éviter l'écrasement des fibres, ou leur pénétration mutuelle, on placera entre les deux pièces une plaque de métal, à laquelle on pourra donner la forme d'un T, **fig. 26** et **23**, ou celle d'un manchon, **fig. 25**. Dans le premier cas, on taillera l'extrémité de la pièce comme on le voit au point T de la figure **24**, et dans le second cas on adoptera la coupe M. Ces joints doivent être placés aux endroits où les courbes sont embrassées par les moises pendantes.

Il ne faut pas oublier de donner à ces courbes une force capable de résister aux efforts produits par les masses plus ou moins pesantes qui peuvent accidentellement rouler ou stationner sur le pont.

On pourra encore obtenir plus de force par un plus grand nombre de fermes, ou par une plus grande quantité de pièces dans chaque ferme.

Ainsi, on peut augmenter le nombre des moises pendantes, ou le nombre des cours de poutres qui composent les arcs. Les cintres du pont d'Asnières étaient formés par quatre cours de poutres.

44. Plancher. La figure **9** est une section par le plan vertical P_7 **fig. 5**, et la figure **10** est la section par le plan P_8 Ces deux figures feront comprendre la disposition du plancher.

Ainsi, un premier plancher *a* sera composé de planches placées perpendiculairement à la direction des fermes sur les longerons L de la figure **5**. Ce premier plancher *a*, **fig. 9**, supportera les quatre cours de poutres sur lesquels sont posés les rails. Ces poutres seront boulonnées avec le prolongement des moises pendantes qui traversent dans ce but le premier plancher *a*. Des solives longitudinales *m*, placées à côté des poutres

qui supportent les rails, soutiendront un second plancher *c* dont les pièces formant entretoises, fixeront l'écartement des rails.

La figure **10** laisse voir l'équarrissage des pièces *m*, tandis que sur la figure **9** ces pièces sont cachées en partie par le prolongement des moises pendantes.

Ces deux planchers contribuent beaucoup au contreventement des fermes; mais cela ne suffit pas, et sans les croix de Saint-André projetées sur la figure **20**, il est évident que les espaces compris entre les moises pendantes ne seraient autre chose que des *quadrilatères articulés*. Or, dans le pan de bois vertical H, **fig. 5**, et dans ceux qui en sont voisins, l'espace compris entre les longerons qui soutiennent le plancher et les moises transversales supérieures M', étant peu considérable, on pourra remplacer les croix de Saint-André par de simples diagonales D, **fig. 9** et **10**.

45. Nous avons dit que les planches ou madriers qui composent le second plancher formeraient entretoises, et maintiendraient le parallélisme des rails. Cette disposition, adoptée dans un grand nombre de ponts en bois et en fer, n'est pas toujours suffisante. En effet, sur tous les chemins de fer à deux voies, le mouvement d'allée et de retour qui a lieu sur les voies peut être représenté par les forces F et —F, **fig. 17**. Or l'une de ces forces tend à pousser les deux fermes X suivant la direction de la flèche F, tandis que par le mouvement de retour, les deux fermes Y seront poussées dans le sens de la flèche —F, d'où il résulte que l'entrevoie G et les espaces U compris entre les voies et les fermes de tête, seront encore dans les conditions de parallélogrammes articulés, ce qui tend à produire dans l'ensemble un couple de rotation : c'est pourquoi, en conservant entre les rails d'une même voie des traverses perpendiculaires à la direction du mouvement, je crois qu'il faudrait placer des croix de Saint-André entre les deux planchers, dans l'entrevoie, et dans les espaces compris entre les voies et les fermes de tête, dont il serait peut-être utile d'augmenter la force.

6. Sur les fig. **4**, **5** et **6**, nous avons supposé un garde-

fou en fer, dont une partie est enlevée sur la figure **6**, afin de laisser voir la projection verticale des rails et des deux planchers.

On peut remplacer la balustrade en fer par un garde-fou en bois, disposé comme on le voit sur les figures **1** et **10**. Dans ce cas, **fig. 10**, la main courante serait une solive horizontale S comprise entre le prolongement des moises pendantes qui, dans ce but, traverseraient les deux planchers.

47. En résumant, les figures comprises dans cette planche suffisent pour construire entièrement le pont qui fait le sujet de l'étude actuelle. En effet, les figures **5** et **17** donneront les longueurs et les épaisseurs de toutes les pièces qui sont parallèles aux plans des têtes, et les figures **14** et **20** détermineront toutes les dimensions des moises transversales et des croix de Saint-André nécessaires pour relier et contreventer les fermes.

48. Ponts américains. Lorsque nous avons étudié la construction des ponts biais en pierre, nous avons cherché surtout à détruire la poussée au vide, et nous avons fait voir qu'au moyen des joints cylindriques, **pl. 17** et **18**, ou des arcs droits disposés en retraite, **pl. 19**, on pouvait ramener toutes les forces dans une direction parallèle aux têtes. On obtient le même résultat dans les deux exemples de ponts en bois projetés sur les planches **1** et **5**; car il est évident que les fermes ne sont autre chose que des arcs droits disposés en retraite.

Mais il existe toujours une poussée sur les piles, et cette force qui tend à les renverser agirait évidemment, si elle n'était détruite par la résistance des fermes qui appartiennent à l'arche adjacente.

En effet supposons, **fig. 2**, **pl. 4**, que la poussée de la ferme H, sur la pile, soit appliquée au point A de la face BD; cette force que nous exprimerons par F peut être remplacée par ses deux composantes F_1 et F_2 La première F_1 perpendiculaire à la face BD agit pour renverser la pile, tandis que F_2 parallèle à cette même face, exprime la force qui tend à faire échapper le pied de la ferme en glissant de A en B.

La poussée F de la ferme K donnerait également lieu à deux

composantes F_1 et F_2 disposées d'une manière analogue. Or les deux forces F_1 étant égales et parallèles, forment un couple qui tend à faire tourner la pile autour de la verticale projetante de son centre de gravité C.

Il semblerait donc que la poussée au vide existera toujours, malgré l'emploi des arcs droits ou des fermes en retraite d'un pont en charpente.

Heureusement, les choses ne se passent pas comme nous venons de le supposer, parce que les arcs droits ou les fermes n'agissent pas sur un seul point de la face oblique; nous avons vu dans les exemples qui précèdent, que les fermes H et K, **fig. 5**, doivent être appuyées sur des plans inclinés ou verticaux, dont les traces *ac*, *vu* sont toujours perpendiculaires à l'axe du pont: de sorte que les forces F qui expriment la poussée des fermes contre la pile, n'agiront que sur la partie de maçonnerie qui est indiquée par une teinte plus foncée; c'est pourquoi il serait peut-être convenable de placer une chaîne de pierres entre les deux fermes. Dans tous les cas, si l'on remplit les intervalles par des briques ou des moellons appareillés, il faut disposer les assises de maçonnerie comme on le voit sur les planches **1** et **3**; car, si les joints qui séparent les rangs de moellons, **fig. 5**, étaient parallèles aux faces de la pile, et que les matériaux ne soient pas bien liés, la pression exercée par les deux forces F, sur des joints parallèles à la droite MN, pourrait faire glisser les pierres et fendre la pile dans le sens de sa longueur.

49. Lorsqu'un pont n'a qu'une seule arche, il est presque toujours possible de donner aux culées une force suffisante pour résister à la pression des fermes, quelque grande que soit cette force. Mais il n'en est pas de même dans les ponts à plusieurs arches, que l'on est souvent forcé de construire au-dessus des rivières, et pour que la navigation soit plus libre, il ne faut pas donner aux piles une épaisseur trop considérable. Or la force qui supporterait le poids vertical du pont, ne sera pas toujours suffisante pour résister à la poussée latérale d'une arche; dans le cas ou l'arche adjacente serait détruite. D'où nous

conclurons que si l'on pouvait supprimer complétement la poussée qui agit sur les piles, on aurait obtenu un résultat précieux. Nous allons voir comme on est parvenu à résoudre ce problème.

50. Supposons, **fig. 1**, qu'une poutre droite et *inflexible*, A, soit posée sans aucun point intermédiaire sur des culées C, il est évident que l'on aura ainsi le plus simple de tous les ponts. Si l'on pense qu'il soit utile de poser cette poutre sur une ou plusieurs piles B, elle ne produira sur ces piles et sur les culées aucune poussée horizontale. Enfin, si l'on veut avoir un **pont oblique**, on placera la poutre A' comme on le voit, **fig. 6**, et dans ce cas il suffira qu'elle soit un peu plus longue qu'il ne serait nécessaire si le pont devait couper à angle droit la rivière qu'il s'agit de traverser.

C'est la faculté de poser ainsi cette poutre dans toutes les directions, qui nous autorise à classer parmi les ponts biais ceux qui sont construit d'après ce principe.

Par suite de la solution précédente, l'espace au-dessous du pont ne sera plus embarrassé par le grand nombre d'arbalétriers, jambes de force, contre-fiches et moises, qui entrent dans la construction des ponts que nous avons étudiés sur les planches **1**, **2** et **3**, ce qui, en facilitant la navigation, permettra de diminuer la hauteur du tablier, et rendra par conséquent les abords du pont plus faciles.

Il semble que tout ce qui vient d'être dit ne peut s'appliquer qu'à un pont de très-petite dimension; car on ne comprend pas comment il serait possible de trouver une poutre *inflexible* assez longue pour traverser un grand fleuve; et l'on se demande d'ailleurs comment *une seule poutre* suffirait pour former un pont. Mais il est évident qu'il ne s'agit pas ici d'une poutre d'un seul morceau de bois; mais d'une poutre d'assemblages, formée par un nombre plus ou moins considérable de pièces. Et l'on concevra sans doute, que si j'ai employé le mot *poutre*, c'est uniquement pour mieux faire comprendre le principe en le réduisant à sa plus simple expression.

Il nous reste donc actuellement à voir par quels moyens on pourra résoudre le problème proposé.

51. On sait (*Statique*) que si un poids P, **fig. 7**, est suspendu au point le plus bas d'une corde, la force F, qui exprime l'action produite par ce poids, divisera l'angle CAC en deux parties égales. Cette force F peut être remplacée par ses composantes F_1 qui sont égales entre elles, et si l'on exprime l'angle CAC par 2α, la formule $F_1 = \frac{F}{2.\cos\alpha}$ sera la force qui agit sur chacun des cordons AC, et qui par conséquent tend à les rompre.

Si l'on remplace la corde CAC par deux tringles AC, en bois ou en métal, les relations seront les mêmes; et si l'on fait faire à ces tringles une demi-révolution autour de l'horizontale qui contient les deux points C, on obtiendra la figure **12**, dans laquelle chacune des forces F_1 agit par la *pression* exercée au point A, suivant la direction AC de la tringle correspondante. On sait que ces tringles ont reçu le nom d'*arbalétrier*.

Si nous supposons actuellement que les deux forces F_1 soient détachées du point A et transportées au pied C des arbalétriers, il n'y aura rien de changé dans les conditions d'équilibre.

Mais chacune de ces forces F_1 transportées au point C, peut être remplacée par ses composantes F_2 et F_3 Les forces F_2 seront détruites par les masses M, sur lesquelles sont appuyés les pieds C des deux arbalétriers. De sorte que tout se réduit aux deux forces horizontales F_3 qui, agissant en sens contraire, auront pour effet d'écarter les points C, comme on le voit sur la figure **11**. Or on sait que, pour empêcher cet écartement, il suffit d'assembler les pieds des arbalétriers AC, **fig. 16**, dans une pièce de bois horizontale CC que l'on nomme *tirant;* et l'on obtient ainsi la plus simple de toutes les fermes.

Au lieu de nommer *tirant* la pièce horizontale CC, on devrait la nommer *tirée;* car il est évident qu'elle ne tire pas, mais qu'elle *retient* les pieds des deux arbalétriers par lesquels elle est par conséquent tirée.

Les deux forces horizontales F_3 qui agissent en sens contraire suivant la direction du tirant, tendent à lui faire perdre

la courbure qui pourrait résulter de sa pesanteur, et si pour un moment nous faisons abstraction de cette pesanteur, la réunion des arbalétriers AC et du tirant CC formera un triangle rectiligne CAC.

52. Ce qui précède étant admis, concevons, **fig. 3**, une suite de fermes triangulaires A égales entre elles, et dont les tirants $o-o$ seraient réunis aux points o par des articulations telles qu'en tournant autour de ces points les triangles A soient toujours situés dans un même plan. Chacun de ces triangles, pris séparément, aura une figure invariable; mais la ligne formée par les bases sera un polygone. Cela étant admis, supposons, **fig. 4**, que l'on réunisse les sommets des triangles par des tringles rigides $1-1$, égales aux bases $o-o$. Les triangles B seront égaux aux triangles A; ce qui donnera l'angle $b' = b$. On aura également l'angle $c' = c$.

Ajoutant l'angle a de chaque côté, et réduisant, il viendra

$$a + b' + c' = a + b + c = 2 \text{ angles droits.}$$

Donc les points o, o, o seront *nécessairement* en ligne droite, ainsi que les points 1, 1, 1, et l'on aura composé un pan de bois invariable, auquel on pourra donner une grande force en augmentant l'équarrissage des bois, et remplaçant chacune des droites $1-1-1$ et $o-o-o$ par une seule pièce, ou, ce qui sera encore mieux, par des moises qui embrasseraient les extrémités des arbalétriers, et formeraient deux tirants communs à toutes les fermes triangulaires ainsi réunies.

53. Supposons actuellement qu'après avoir composé un second pan de bois exactement égal au premier, on les superpose comme on le voit figure **9**, de manière que les sommets des triangles qui forment le premier pan de bois étant désignés par les numéros 1, les sommets des triangles du second pan de bois soient désignés par les numéros 2, on obtiendra un pan de bois qui aura deux fois la force du premier. Enfin, si à ces deux pans de bois on en superpose deux autres dont les som-

mets seraient désignés par les numéros 3 et 4, on aura, **fig. 14**, un pan de bois quatre fois aussi fort que le premier, et l'on conçoit qu'en continuant de cette manière, on obtiendra autant de force que l'on voudra.

54. La construction des pans de bois dont nous venons de parler sera extrêmement simple. En effet, on placera sur le chantier, **fig. 20**, deux fortes moises horizontales et parallèles M, espacées d'une quantité égale à la hauteur du pan de bois que l'on voudra construire. On rangera, comme on le voit sur la figure **20**, une suite de madriers égaux *a*, parallèles entre eux, et dont l'épaisseur est indiquée sur la coupe, **fig. 21**; on disposera ensuite sur ce premier pan de bois, **fig. 24**, une seconde rangée de madriers égaux aux premiers et inclinés de la même quantité, mais en sens contraire. Enfin on placera, **fig. 24** et **23**, deux moises M' égales aux moises M des figures **20** et **21**; puis on boulonnera toutes ces pièces, comme cela est indiqué sur les figures **23** et **24**.

55. Cela étant fait, supposons que deux pans de bois *ac*, construits comme nous venons de le dire, soient placés verticalement et à égale distance l'un de l'autre, comme on le voit figure **13**; si on relie ces pans de bois par deux planchers horizontaux *aa*, *cc*, le premier *aa*, d'une force suffisante pour supporter les efforts qui agissent ordinairement sur un pont, le second *cc* plus léger et dont la fonction sera de contreventer les deux pans de bois verticaux, on aura obtenu un pont américain. L'ensemble formera une espèce de poutre *aacc* creuse ou *tubulaire*, dans l'intérieur de laquelle pourront passer les piétons, les voitures ordinaires ou les trains d'un chemin de fer, suivant la force plus ou moins grande que l'on aura donnée au pont.

C'est dans le principe que nous venons d'exposer que consiste le système employé par M. Town, ingénieur américain.

On voit combien, dans un pays où il y aurait abondance de bois, il sera facile d'établir à peu de frais un pont de cette espèce. Tous les madriers égaux qui forment les parois latérales

seront promptement débités par une scierie mécanique, et la simplicité, on pourrait dire l'absence des assemblages, permettra d'employer pour ce travail des ouvriers d'une habileté très-ordinaire.

56. Nous venons de dire au n° 55, que le plancher supérieur *cc* **fig. 13**, avait pour but de contreventer les deux pans de bois verticaux *ac*, et par conséquent d'augmenter leur roideur; mais quand nous admettrions que l'on soit parvenu à obtenir une rigidité absolue, il resterait encore à faire un reproche à la disposition précédente. En effet, les deux pans de bois verticaux de la figure **13** et les deux planchers horizontaux *aa*, *cc* par lesquels ces deux pans sont réunis, formeront évidemment un *quadrilatère articulé*, dont la stabilité ne dépend que des assemblages qui ont lieu aux quatre sommets *a*, *a*, *c*, *c*; on pourra bien, il est vrai, fortifier ces assemblages par des ferrures en équerre, ou par des contre-fiches disposées de manière à empêcher les angles de se déformer; mais ce dernier moyen, qui diminuerait l'espace compris entre les parois, ne serait pas toujours suffisant, et si le pont doit éprouver une grande fatigue, il vaudra mieux, **fig. 15**, établir des croix de Saint-André entre les deux planchers et les pans de bois verticaux; mais alors le passage entre ces pans de bois ne sera plus possible, et les voies devront être établies sur le plancher supérieur *cc*, auquel, pour cette raison, il faudra donner toute la force nécessaire. Il est vrai que, dans ce cas, le chemin étant plus élevé, les abords en seront moins faciles; c'est pourquoi le système précédent est quelquefois préféré.

57. Pour ne pas trop compliquer la question, nous avons d'abord supposé :

Que les pièces de bois étaient inflexibles, mais il n'en sera pas ainsi dans l'application, ainsi par exemple, si la ferme simple qui est représentée sur la fig. **16** avait de grandes dimensions, le tirant fléchirait, et prendrait une courbure COC plus ou moins prononcée, suivant l'équarrissage et l'élasticité du bois que l'on aurait employé. On sait que pour détruire cette courbure, il suf-

fit d'attacher au point A, **fig. 17**, une pièce ou tige verticale AO′ que l'on nomme *poinçon*, et dont le but est de soulager le tirant en le soutenant par suspension au moyen d'un étrier.

Enfin, la flexion des arbalétriers sera combattue, **fig. 19**, par l'addition des contre-fiches qui les soutiennent au milieu m de leur longueur. Ces pièces sont assemblées dans le poinçon, et tous les efforts, transmis au point A se réduisent, comme nous l'avons dit au numéro 51, en composantes horizontales F_3 qui, agissant suivant la longueur du tirant, contribuent par conséquent à en rectifier la courbure.

Ainsi, en plaçant une tige verticale ou poinçon au sommet de chacune des fermes triangulaires qui composent le pan de bois représenté sur la figure **18**, on détruira complétement la flexibilité des moises inférieures.

Les moises supérieures seront soutenues par les arbalétriers des fermes; enfin si l'on place un boulon, partout où ces arbalétriers se croisent, leur flexion sera détruite par les parties *au*, *a′u′* qui remplissent ici les fonctions de contre-fiches par rapport aux arbalétriers *a*-1 ou *a′*-2, et l'on conçoit que si l'on ne mettait pas de poinçons ou tiges verticales, les vibrations qui auraient lieu aux points *u* ou *u′* se décomposeraient en résultantes dirigées dans le sens des arbalétriers, et les boulons agissant comme des coins, tendraient à faire fendre les bois dans le sens de leur longueur; d'où il faut conclure que les tiges verticales sont indispensables, lorsqu'il s'agit d'un pont qui doit résister à une grande fatigue.

La figure **23** est un pan de bois complet du système précédent; les tiges verticales sont terminées, à leurs extrémités inférieures, par des sabots en fonte, et les écrous placés au sommet des fermes, permettent de relever les tirants, si quelque flexion résultait du relâchement des assemblages. Les tiges verticales passent entre les pièces inclinées, sans les traverser, et les boulons ne sont placés qu'aux points de croisement où il n'y a pas de tiges verticales. Les dispositions que nous venons d'exposer ont été appliquées par M. Long, ingénieur américain, à la construction d'un pont dont nous donnerons les détails sur la planche suivante.

58. En résumant, on voit que les ponts américains ne sont autre chose que des espèces de poutres *tubulaires*, **fig. 13**, ou armées à l'intérieur de pièces destinées à combattre toute espèce de flexion. La poussée, au lieu d'agir sur les piles, comme dans un pont ordinaire, est remplacée par une suite de résultantes horizontales, agissant suivant la direction des moises inférieures, qui forment un *tirant* commun à toutes les fermes triangulaires dont se composent les deux pans de bois verticaux.

Les moises supérieures peuvent être considérées comme des *entraits;* car il ne faut pas confondre, comme le font presque tous les charpentiers, un tirant avec un entrait.

Les forces auxquelles ces deux pièces doivent résister sont dirigées, il est vrai, dans le sens de leur longueur, mais sur le tirant elles agissent par *extension*, tandis que sur un entrait les forces agissent par *pression*. Cela complète l'analogie qui existe entre un pont américain et une poutre horizontate, dans laquelle les fibres inférieures tendent à s'allonger, tandis que les fibres supérieures tendent à se raccourcir.

59. J'ai réuni sur la planche **5** quelques-unes des applications les plus intéresantes des principes précédents. Les figures **6**, **7**, **8** et **9** sont empruntées à un article inséré, en 1839, dans le tome XXVI des *Annales des ponts et chaussées*. Cet article, extrait d'un ouvrage anglais publié par M. l'ingénieur Stevenson, contient des considérations du plus grand intérêt sur les travaux publics de l'Amérique du Nord.

Nous y renverrons le lecteur, et nous ne parlerons ici que de ce qui se rattache d'une manière directe à la question spéciale qui fait le sujet de ces études.

60. La figure **8** est la projection verticale d'un pont construit suivant le système de M. Town. Le dessin donné dans les *Annales* se rapporte à un pont droit; mais on a dû comprendre, par ce que nous avons dit au numéro 50, que le principe est également applicable à un pont biais, puisque la pile n'est ici qu'un point d'appui sur lequel on peut placer le pont dans la direction qui convient le mieux, sans qu'il y ait

jamais aucune poussée horizontale. Les deux pans de bois verticaux, construits comme nous l'avons dit au numéro 54, contiennent chacun quatre cours de moises, entre lesquelles on distingue les extrémités des traverses qui soutiennent les deux planchers, *aa*, *cc*, **fig. 6, 7** et **9.**

Ces traverses sont plus fortes et plus rapprochées pour le plancher supérieur qui porte les deux voies d'un chemin de fer, **fig. 7** et **9.**

Le déversement des deux pans de bois verticaux est combattu comme nous l'avons dit au numéro 56, par des croix de Saint-André espacées d'environ $3^{m},60$, **fig. 9.**

61. Dans tous les ponts observés en Amérique par M. Stevenson, il n'y a que deux pans de bois verticaux; mais il serait sans doute plus prudent d'en placer un troisième au milieu de l'entrevoie, comme je l'ai indiqué sur la figure **9**, par une double ligne de points.

62. Le système de pont qui est projeté sur la figure **17**, vient d'être employé à Paris, pour la construction d'une passerelle destinée aux piétons pendant la construction du nouveau pont Saint-Michel. Le passage est établi entre les deux pans de bois verticaux, comme on le voit par les coupes, **fig. 16** et **19.**

Le pont ne devant pas éprouver une grande fatigue, l'ingénieur s'est contenté de deux cours de moises pour chaque pan de bois vertical. Lorsque toutes les pièces ont été taillées et boulonnées sur le chantier, on a démonté les moises que l'on a d'abord mises en place, en les appuyant sur des soutiens provisoires *u*, **fig. 17**; puis on a décomposé chaque pan de bois en fragments de 4 à 5 mètres de longueur, que l'on a dressés et boulonnés successivement en avançant d'une rive à l'autre.

Pour diminuer la distance des points d'appui, et sans doute aussi pour empêcher le déversement des deux pans de bois verticaux, l'ingénieur a placé en *a* sur les chemins de halage deux chevalets dont l'un est projeté sur la figure **19.** Enfin, des tiges verticales *vv*, attachées aux extrémités d'une traverse horizontale *nn*,

sont scellées dans une masse M de maçonnerie faisant équilibre à la résultante de toutes les forces qui agissent sur le pont.

63. Malgré ces précautions, les moises ont un peu fléchi; ce qu'il faut attribuer sans doute à des circonstances exceptionnelles qu'il serait facile d'éviter, s'il s'agissait d'une construction définitive.

On pourrait peut-être attribuer en partie cette courbure à l'emploi des boulons. En effet, si le trou est trop petit, le boulon qui est incompressible, fera fendre le bois; et si le trou est trop grand, l'assemblage prendra du jeu, l'angle *v* s'ouvrira, le centre s'abaissera un peu; et l'on comprend que, si petit que soit l'effet qui a lieu au point de croisement de deux madriers, la somme de tous ces affaissements successifs, en partant de l'un des points d'appui, doit devenir sensible vers le milieu du pont, tandis que dans les ponts américains, construits suivant le système que nous venons d'exposer, les madriers sont réunis aux points où ils se croisent, par des chevilles en bois de chêne, qui, chassées avec force, remplissent très-exactement, en se comprimant le vide destiné à les recevoir; de sorte que si le trou vient à s'élargir un peu, par suite des variations de la température, la cheville moins comprimée se dilatera de manière à remplir toujours exactement l'espace qu'elle doit occuper.

64. Les parties A et B des moises horizontales, **fig. 17**, sont réunies par des endentures dont on voit le profil sur la fig. **14**; cet assemblage doublé par une planchette *vu* en bois de chêne, de deux ou trois centimètres d'épaisseur, est serré par des liens *mn* et par une clef rectangulaire *a*; on aurait pu remplacer la planchette *vu* par une doublure KH disposée comme cela est indiqué sur la figure **41**. Enfin, quelques ingénieurs préfèrent employer le joint plan qui est projeté, **fig. 36**, et dont la force peut être augmentée indéfiniment en donnant plus d'épaisseur et de longueur aux deux plaques de métal *aa*, *cc*, entre lesquelles les longerons L et L′ que l'on veut réunir seront compris et solidement serrés par des boulons et des liens.

65. La flexion d'un pont en treillis peut encore provenir d'une grande élévation de température. En effet, la chaleur, agissant constamment sur les fibres supérieures des moises, leur fera éprouver de la contraction; tandis qu'au contraire les fibres inférieures seront allongées sous l'influence de l'humidité produite par l'évaporation de la rivière.

Supposons, par exemple, que la poutre A, **fig. 65**, placée au-dessus d'un cours d'eau, soit exposée à un soleil très-ardent, la face inférieure plus humide et constamment dans l'ombre se contractera moins que la face supérieure, et la pièce prendra la forme que nous avons indiquée sur la figure, en exagérant la courbure afin de mieux faire comprendre le principe. Chacune des croix de Saint-André, **fig. 61**, se déformera comme on le voit, **fig. 62**, et le pan de bois vertical d'un pont en treillis, se courbera comme cela est indiqué sur la figure **64**.

66. C'est pour combattre les effets produits sur le bois par les intempéries de l'atmosphère que les constructeurs allemands et américains enveloppent tous leurs ponts d'un revêtement en planches peu épaisses; et c'est dans le même but que, dans nos pays, on a le soin de peindre les bois exposés aux variations de la température.

On pourra éviter la flexion dont nous venons de parler en resserrant les boulons quelques jours après la pose, et surtout, en disposant les bois de manière que le milieu de la travée soit un peu plus élevé que les points d'appuis. Mais cela aurait un inconvénient, si l'un des deux planchers devait recevoir les rails d'un chemin de fer; et dans ce cas, il faudrait ne donner de la courbure qu'à celui des deux planchers qui ne contient pas les voies.

Enfin, c'est pour augmenter la rigidité des moises et détruire toute espèce de flexions, que dans certains ponts, on a employé les tiges verticales ou poinçons dont nous avons parlé au numéro 57.

67. Les figures **54**, **52**, **49** et **50** extraites de l'article cité

plus haut (Annales 1839) représentent le système adopté par M. Long, ingénieur américain. La figure **54** est la projection verticale, la figure **49** est le plancher supérieur, et la figure **50** est le plancher inférieur auquel on a donné plus de force parce qu'il supporte les voies, comme cela est indiqué par la coupe en travers, **fig. 52**.

Les tiges verticales sont réunies avec les grandes moises horizontales par des assemblages que l'on peut resserrer à volonté, ce qui permet de détruire la courbure provenant du relâchement des mortaises.

Les figures **25**, **26**, **27** et **28** feront comprendre les assemblages employés pour réunir les pièces pendantes et inclinées avec les moises horizontales ou longerons inférieurs, et les figures **55**, **57**, **58** et **59** indiquent les assemblages avec les moises horizontales supérieures. Les lettres semblables sur toutes ces figures désignent les mêmes pièces.

Ainsi, sur les figures **25**, **26**, **27** et **28**, les trois moises horizontales ou longerons sont désignés par les lettres L, L′ et L″, et les deux poinçons verticaux par V et V′. La perspective, **fig. 28**, fera comprendre facilement la disposition de toutes ces pièces, dont quelques-unes ont été supprimées sur les figures **25**, **26** et **27**. Ainsi, la figure **27** ne contient que les deux longerons L et L′ dont la projection est commune, la moise verticale V, la moise inclinée D, et la pièce E comprise entre les deux moises D et D′, comme on le voit, **fig. 28**. La figure **27** contient encore la projection d'une pièce F posée sur le longeron L′, **fig. 26**, et qui soutient le pied de la pièce inclinée E.

Enfin, la lettre C, **fig. 27**, indique la projection commune à deux coins destinés à serrer l'assemblage des pièces V et D avec les deux moises horizontales ou longerons L et L′. L'un de ces coins est dessiné en perspective sur la figure **28** qui contient en outre la place réservée à un second coin semblable au précédent, et qui doit serrer l'assemblage des pièces V′ et D′ avec les deux longerons L′ et L″.

68. M. Stevenson, dans l'ouvrage d'où nous avons extrait ce qui précède, dit que cet assemblage ne contient ni *clous*, ni

chevilles; mais cette remarque n'est sans doute applicable qu'aux pièces verticales ou inclinées; car, il est évident que si les trois moises ou longerons horizontaux L, L′ et L″, **fig. 25** et **26**, n'étaient pas solidement reliés et *serrés* par des boulons ou des liens placés très-près des assemblages que nous venons d'étudier, l'écartement qui pourrait provenir de l'élasticité des bois laisserait échapper toutes les pièces qu'elles sont destinées à réunir; les coins C ne pouvant exercer aucune pression horizontale dans le sens perpendiculaire à la direction du pont.

69. La figure **55** est la perspective de l'assemblage qui a lieu au point H de la figure **54**, et qui est projeté sur les figures **57**, **58** et **59**. Les pièces déjà projetées sur les figures **25**, **26** et **27** sont indiquées ici par les mêmes lettres, à l'exception des moises horizontales supérieures que nous désignerons par les lettres M, M′ et M″.

Sur la figure **57**, nous supposerons que l'on ait enlevé la moise horizontale M″, la moise verticale V′, et la moise inclinée D′. Le reste sera facile à comprendre. Ainsi, la pièce D taillée en biseau dans sa partie supérieure fera l'office de coin, et contribuera à serrer la moise verticale V contre les faces verticales de la mortaise comprise entre les moises M et M′, tandis qu'un coin C serrera l'assemblage des deux pièces M′ et E.

Il est bien entendu, comme nous l'avons dit plus haut, que toutes ces pièces devront être fortement serrées par les trois moises horizontales M, M′ et M″, qui, pour cette raison, devront être réunies solidement par des boulons ou des liens.

70. Pour prévenir la flexion, M. Long place au milieu de la travée, **fig. 51**, une ferme dont le tirant est formé par la moise supérieure M.

71. La figure **42** fait voir de quelle manière le plancher inférieur est soutenu par les longerons horizontaux. Je ne sais pas si, malgré les nombreux exemples observés en Amérique par M. Stevenson, il est bien prudent d'appuyer le plancher sur des longerons suspendus aux tiges verticales V, V′, auxquelles

ils ne sont attachés, **fig. 25**, que par des embrèvements serrés avec des coins. Si l'on pense que ce plancher, à *deux voies*, et sans aucun soutien intermédiaire, doit, dans certains moments, porter deux convois, on se demandera sans doute si des combinaisons aussi hardies, sont suffisamment compensés par la facilité avec laquelle on peut resserrer les assemblages.

Dans tous les cas, nous allons voir que les ingénieurs allemands n'ont pas cru devoir employer les mêmes moyens de suspension.

72. Ainsi, on trouvera dans le cinquième cahier des *Annales des ponts et chaussées* (*septembre et octobre* 1854), un mémoire extrêmement intéressant sur la construction projetée, à cette époque, du pont de Wittemberg sur l'Elbe.

La figure **29** est la projection de la partie de pan de bois vertical qui est au-dessus de l'une des piles.

Le principe adopté est une combinaison des systèmes représentés par les figures **6** et **54**; c'est-à-dire qu'aux pans de bois en treillis qui constituent le système de M. Town, **fig. 6**, on a cru devoir ajouter les tiges verticales ou poinçons dont nous avons parlé au numéro 57. On remarquera cependant, que les tiges verticales en bois qui existent dans le pont de M. Long, **fig. 54**, sont remplacées, **fig. 29**, par des tiges en fer; et c'est probablement pour combattre la flexion, que l'on a donné $0^m,0525$ de flèche à la moise supérieure *kh*, **fig. 40**, ce qui me paraît bien faible pour une travée de 53 mètres de portée. La coupe, **fig. 39**, indique la disposition du plancher et des voies latérales destinées aux piétons.

Les assemblages indiqués en perspective par les figures **28** et **55**, sont remplacés dans l'exemple actuel, par des sabots en fonte, dont nous allons donner les détails.

73. Les figures **1**, **2**, **4**, **44**, **45** et **46** indiquent les assemblages des tiges verticales et des pièces inclinées avec les moises horizontales.

La figure **2** est l'assemblage, au point G, de la figure **29**; et la figure **44** représente l'assemblage au point H.

La figure **21** est la perspective du sabot en fonte destiné à recevoir les pieds de toutes les pièces de bois qui aboutissent au point G de la figure **29**, et le sabot, représenté par la figure **60**, est destiné à recevoir les extrémités supérieures des pièces qui aboutissent au point H.

La figure **4** est le plan, et la figure **1** est la coupe par le plan P des figures **2** et **4**.

Les deux tiges *m* et *n*, situées dans un plan perpendiculaire à la projection, **fig. 2**, sont cachées sur cette projection par la pièce verticale V.

Ces tiges, **fig. 4**, passent entre les moises L, L′ et L″.

Ainsi le sabot, **fig. 21**, réunit les pieds de huit pièces de bois, savoir :

1° Les deux moises D, formant les arbalétriers de la ferme qui a son sommet au point H′ de la figure **29**.

2° Les deux moises B, formant l'un des bras de la croix de Saint-André comprise entre les tiges verticales GH et KR.

3° Les deux pièces de bois verticales désignées par la lettre V sur les projections, **fig. 2** et **29**, enfin :

4° Les deux bras S de deux croix de Saint-André qui ont une projection commune sur la figure **29**.

Ainsi, les huit pièces dont les pieds sont réunis par le sabot, **fig. 21**, sont des moises; tandis que le sabot dessiné sur la figure **60**, ne réunit que six pièces de bois, savoir : les quatre moises désignées par les lettres V et F sur les figures **29**, **44** et **46**, et les deux pièces N et U comprises entre les moises D et B de la figure **29**.

Les deux croix de Saint-André situées entre les montants verticaux V et V′, **fig. 29**, ont une projection commune, leur distance est maintenue par les deux soliveaux *aa* et *cc*. Les pièces F et S sont assemblées à mi-bois, et leur fouettement est détruit par un tasseau projeté en points, **fig. 29**, et dessiné en perspective, **fig. 43**.

Les figures **35**, **37** et **38** sont les perspectives des sabots en fonte placés aux extrémités des tiges verticales et destinés à réunir les pièces de bois inclinés. La forme de ces sabots dépend du nombre de pièces qu'ils doivent recevoir. Ainsi, le sabot des-

siné sur la figure **35** serait placé au point K de la figure **29** et réunirait 3 pièces, savoir : les deux moises E, et la pièce moisée N; le sabot, **fig. 37**, serait placé au point *m* de la figure **40** où il réunirait les deux pièces moisées *mn*; enfin, le sabot, **fig. 38**, serait placé au point *u* de la même figure et réunirait quatre moises dont les projections *uv* se confondent deux à deux.

Les écrous placés aux extrémités supérieures des tiges verticales permettent de relever les fermes.

Les boulons ne seront placés, **fig. 29**, qu'aux points de croisement où il n'y a pas de tiges verticales.

Aux points *x*, les tiges passent entre les moises et les pièces moisées, que l'on n'a pas besoin d'entailler puisque ces pièces sont écartées comme on le voit, **fig. 1** et **4**, d'une quantité égale à l'épaisseur des parois en fonte qui séparent les compartiments des sabots. Les figures **32** et **33** sont les projections horizontales des deux planchers; la figure **33**, est le plancher supérieur et la figure **32** est le plancher inférieur, dont les solives sont plus rapprochées afin d'obtenir la force nécessaire pour supporter les convois.

74. Afin d'éprouver la force du pont dont nous venons de donner les détails on a monté dans le chantier, **fig. 40**, une travée de $53^{m},669$ de longueur. On a établi cette travée à une hauteur suffisante seulement, pour que l'on pût observer les oscillations, sans qu'il y ait aucun danger en cas de rupture.

75. Pour bien comprendre ce que nous allons dire, il faut distinguer l'élasticité absolue de l'élasticité partielle. Ainsi, par exemple, supposons qu'après le temps nécessaire pour que les assemblages soient complétement serrés, le plancher inférieur *ac* du pont qui est projeté, **fig. 40**, soit parfaitement horizontal, la pression verticale produite par le passage d'un train, fera descendre le milieu *m* d'une quantité, qui sera la *flèche* de l'arc *am'c* par lequel la droite *amc* sera momentanément remplacée.

Or, si après le passage du train le point *m'* se relève, et vient reprendre exactement sa position primitive, de manière que la

moise horizontale *amc* soit de nouveau parfaitement droite, on pourra dire que *l'élasticité est complète*. Mais, cela n'arrivera presque jamais ainsi, parce que, malgré le serrement des assemblages, les bois sans perdre toute l'élasticité qui dépend de leur longueur, éprouveront par l'action des forces verticales une compression, et par suite un affaissement qui subsistera encore, lorsque la cause de cette déformation aura cessé. De sorte, que le point *m'*, au lieu de revenir à la place qu'il occupait avant l'épreuve, restera un peu au-dessous; la courbure de la moise persistera encore après le passage du train, et la distance verticale comprise entre le milieu de la droite horizontale *ac* et la hauteur à laquelle le point *m'* sera parvenu en remontant après l'épreuve, se nomme la *flèche permanente*, de sorte que, pour évaluer l'effet produit par le passage d'un second train, il ne faut tenir compte que de la quantité dont cette seconde épreuve aura augmenté la flèche provenant de l'épreuve précédente.

Ce que nous venons de dire pour le passage des trains, s'appliquerait également aux pressions produites en un ou plusieurs points du tablier, par la présence ou la chute de corps plus ou moins pesant.

76. La question d'obliquité qui fait le sujet des études actuelles, n'exige pas que nous exposions ici tous les détails des expériences qui ont été faites pour constater la solidité du pont de Vittemberg. Je renverrai le lecteur à l'article des annales que j'ai cité plus haut, et je me contenterai de rappeler qu'après cinq épreuves consécutives, parmi lesquelles deux, trois et quatre locomotives pesant ensemble 130 tonnes, ont marché et se sont arrêtées au milieu du pont, où elles sont retombées après avoir passé sur deux coins de $0^m,029$ de hauteur, la flèche permanente n'était parvenue qu'à $0^m,00931$.

Deux cent quarante hommes sautant ensemble et en mesure, vingt à trente fois de suite, au centre de la travée, n'ont fait augmenter cette flèche que de $0^m,01962$, ce qui a porté la flèche totale à $0^m,02893$.

Cette expérience a été répétée trois fois.

Les mêmes hommes traversant le pont au pas, n'ont produit

qu'une augmentation de $0^m,00486$ sur la flèche permanente ce qui a donné $0^m,01417$ pour la flèche totale. Enfin, *trois* locomotives et 51 tonnes uniformément réparties sur le pont, n'ont fait parvenir la flèche totale qu'à $0^m,07319$.

La plus grande flèche égale à $0^m,07916$, a été obtenue par deux locomotives placées au centre, et un poids de 103 *tonnes* uniformément réparties, ce qui équivaut à un poids de 205 tonnes. C'est alors seulement qu'une plaque dont la fonte était poreuse s'est brisée.

En resserrant les écrous des tiges de fer entre les 7e et 8e épreuves les fermes se sont relevées.

77. L'auteur de l'article que nous citons, ajoute que «ces expériences avaient pour l'Allemagne un intérêt beaucoup plus grand que pour la France, parce que les ponts en bois y sont généralement adoptés pour les grandes portées, tandis qu'en France, on les a bannis complétement des chemins de fer.»

Je ferai remarquer cependant, que les ponts et passerelles en treillis pourraient être utilement employés pour les voies de communications secondaires destinées aux piétons et aux voitures ordinaires, et que, sous le rapport de l'économie et de la sécurité, ces constructions seraient préférables au système si dangereux des ponts suspendus.

78. Le pont dont nous venons de parler est un pont droit, mais il est évident que tout ce qui vient d'être dit peut s'appliquer également à un pont biais.

S'il est possible de traverser la rivière avec une seule travée, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit au numéro 50, mais, s'il doit y avoir une ou plusieurs piles, on fera bien d'avoir égard aux considérations suivantes.

Les ponts construits d'après les principes précédents, ne donnant lieu à aucune poussée horizontale; nous en avons conclu, qu'il suffirait de les poser sur la pile sans les attacher par aucun lien à cette partie de la construction. On pourra donc demander quel est le but des jambes de force ou contre-fiches indiquées sur les figures **29** et **40**.

Il est certain que ces pièces seraient inutiles, si l'on pouvait parvenir à donner au plancher une roideur absolue. Mais il n'en est pas ainsi dans l'application, et les bois conservant toujours un peu d'élasticité, la brusque transition qui aurait lieu au moment où le convoi quittant le corps dur et non élastique de la pile, arriverait sur les parties plus flexibles du tablier, pourrait faire rompre quelques-unes des pièces qui le supportent; et c'est pour éviter ce danger que les jambes de force sont principalement utiles.

C'est probablement aussi pour diminuer un peu la différence d'élasticité entre la pile et la travée que l'ingénieur du pont que nous étudions, a placé sur la pile, trois poutres, dont on voit les abouts, **fig. 40**. Mais dans un pont biais, **fig. 53** et **56**, il sera convenable de remplacer ces poutres par une enrayure composée de solives *u* perpendiculaires à la direction du mouvement. Ces pièces seraient contreventées par des croix de Saint-André ou simplement par des diagonales *a*. La figure **10** est une coupe horizontale par le plan P de la figure **29**, et la figure **53** est une section par le plan P_1

La figure **11** indique comment on pourrait établir le passage sur le plancher supérieur. Nous avons fait remarquer au numéro 56, que cette méthode aurait l'avantage de contreventer les pans de bois verticaux; mais le chemin se trouverait plus élevé, et les abords en seraient moins faciles. D'un autre côté, si l'on adopte la disposition représentée sur la figure **39**, les pans de bois verticaux ne seront pas contreventés, et pour empêcher le déversement, il serait peut-être utile d'ajouter des ferrures en équerre *mon* ou des contre-fiches suivant les lignes *vu;* ce qui exigerait alors que les pans de bois verticaux eussent un peu plus de hauteur pour ne pas gêner la circulation des trains.

79. On a dû reconnaître par ce qui précède, que les différentes manières d'assembler les moises horizontales ou longerons, avec les pièces inclinées ou verticales, sont une des parties les plus importantes de la question qui nous occupe. On doit encore étudier avec le plus grand soin le meilleur mode

d'assemblage au point où se croisent les pièces inclinées des pans de bois latéraux.

80. Si l'on se contente d'un seul boulon en fer, il peut exister deux inconvénients :

1° Les bois peuvent se fendre dans le sens de leur longueur;

2° L'angle formé par les deux pièces peut s'ouvrir.

Les bois pourront se fendre si le trou du boulon n'est pas assez grand, mais encore dans le cas contraire; en effet, l'air qui pénètre dans un trou de boulon trop large, s'introduit entre les fibres du bois, l'humidité pénètre dans ces fibres et ne tarde pas à y produire la pourriture. On ne peut remédier à cet inconvénient qu'en fermant hermétiquement toute espèce d'ouverture, c'est pourquoi des chevilles qui, par suite de leur compression, remplissent très-exactement le trou, sont quelquefois préférables à des boulons. D'ailleurs la pression verticale exercée sur le boulon tend à faire fendre le bois dans le sens de sa longueur.

81. En effet, si les voies sont établies sur le plancher supérieur, comme pour le pont de M. Thown, **fig. 6.** Le passage d'un convoi au point a de la figure **10**, produira une pression qui peut être remplacée par ses composantes F_2 et F_3 Mais il est évident, que la force F_2 appliquée en a, et perpendiculaire à ac, fera de cette pièce un levier du second ordre, dont le point d'appui est au point c, et pour lequel le boulon fixé dans la pièce $a'c'$ est la résistance. Or, la pression F_4 exercée sur le boulon, agira comme un coin, parallèlement aux fibres de la pièce $a'c'$ et pourra faire fendre cette pièce dans le sens de sa longueur. Lorsque le convoi passera au point a', il se produira un effet analogue, c'est-à-dire que la pression agira dans le sens de la pièce ac. Ainsi, au passage de chaque train, le trou du boulon reçoit deux chocs, agissant successivement dans la direction de l'une des pièces croisées.

Les effets seront les mêmes, si les voies sont établies sur le plancher inférieur. La seule différence, **fig. 12**, c'est que dans ce dernier cas, la puissance est appliquée au point c et l'appui du levier est en a.

32. Si les deux pièces croisées sont fortement comprimées entre l'écrou et la tête du boulon, les forces produites par le passage des convois seront promptement transformées en vibrations, qui se communiqueront sans aucun danger à toutes les parties de la charpente : mais, si le boulon n'est pas bien serré et que le trou soit un peu large, les effets que nous venons de signaler auront nécessairement lieu, et l'on comprend alors pourquoi il est utile de serrer fréquemment les assemblages.

33. Quant à la variation de l'angle formé par les pièces croisées, elle ne peut provenir que d'un changement produit dans la direction de ces pièces par l'altération on par le gauchissement de quelque autre partie de la charpente.

Si les points de croisement sont peu nombreux, cela sera insensible sur l'ensemble général de la construction, mais s'il y a un grand nombre de croisements, comme dans un pont en treillis, la somme de tous les effets très-petits qui ont lieu dans un grand nombre de points, finira par produire une déformation sensible.

34. Quelques ingénieurs américains ont cherché à combattre les variations de l'angle, en plaçant quatre chevilles, comme on le voit au point *a* de la figure **22**, mais il est évident que cette méthode affaiblira le bois, d'autant plus que, pour obtenir le plus grand effet, il faut écarter les chevilles et les placer par conséquent très-près des arêtes de chacune des pièces. On diminuera l'inconvénient dont nous de parler en ne plaçant comme on le voit au point *c* que deux chevilles, entre lesquelles on ferait passer une tige ou poinçon *vu* qui, en supprimant la pression verticale, ne laissera aux deux chevilles que la fonction de détruire ou au moins de diminuer l'élasticité du bois. On peut aussi dans ce but rapprocher les deux pièces, comme on le voit sur la figure **24**, au lieu de les écarter pour le passage des tiges.

Si l'on craint que les bois ne soient trop affaiblis par plusieurs chevilles, on peut n'en placer qu'une seule, et dans ce cas, on fera passer la tige à droite ou à gauche du point de croisement, fig. **15**.

On peut aussi écarter les chevilles en employant la combinaison qui est projetée fig. **47** et **48**. Les tasseaux H, boulonnés ou chevillés avec les moises D, seraient assemblés avec la pièce E, par de simples embrèvements, qui suffiraient pour détruire tout mouvement de sciage entre les deux pièces croisées.

Enfin, on peut fortifier la pièce moisée E par l'addition de deux soliveaux S, placés entre les moises D, comme on le voit en projection sur les figures **20** et **23**, et en perspective sur la figure **3**. Ces deux soliveaux seraient attachés à la pièce E par des chevilles ou par des boulons *m* parallèles aux moises D, et reliés à ces dernières pièces par des boulons ou chevilles *u* perpendiculaires à leur direction.

La figure **5** indique l'entaille ou embrèvement destiné au passage de la tige verticale, ce qui permettra de rapprocher les trois longerons M, M′ et M″, comme on le voit figure **23**. Je crois que cette combinaison, en augmentant la roideur de l'assemblage, serait préférable à l'écartement indiqué sur les figures **1** et **4** pour le passage des tiges verticales. En effet, il ne suffit pas qu'un pont ait la force nécessaire pour supporter les convois, il faut encore que l'élasticité ne soit pas assez grande pour les faire dérailler; et l'on n'obtiendra ce résultat qu'en diminuant les distances comprises entre les points d'assemblages. C'est pourquoi il vaudrait peut-être mieux, dans certain cas, employer des bois plus minces et augmenter le nombre des pièces afin de rapprocher les points de croisement.

85. La manière d'assembler les moises horizontales doit encore attirer toute l'attention du constructeur. Ainsi, le trait de Jupiter, **fig. 34**, peut convenir pour réunir les deux parties d'une pièce qui ne doit pas être exposée à de grands efforts, mais dans le cas contraire, cet assemblage ne vaut rien, à moins qu'il ne soit fortifié par des doublures comme l'assemblage qui est projeté, **fig. 41**, car les liens ne suffiront pas toujours pour empêcher la rupture.

En effet, sur un entrait, **fig. 30**, les forces F agissent par *compression* (58) et tendent à rapprocher les deux parties A et B. Mais les angles *vou*, agissant comme des coins, feront

fendre les parties A et B suivant les lignes *os*. Dans ce cas, les faces *vo*, *v'o'*, glissant sur des plans inclinés, la partie A montera, tandis que B descendra; ce qui augmenterait l'épaisseur *xy* de la pièce si les liens *mn* ne s'opposaient pas à cette augmentation. Mais, l'angle *hzv* formé par les faces *hu* et *vo* étant très-aigu, la force qui tend à faire éclater le lien sera considérable, et je ne crois pas qu'il soit prudent de se fier à cette armature.

Nous venons de voir que lorsqu'il s'agit d'un entrait, les liens peuvent quelquefois s'opposer à la rupture du trait de Jupiter, mais, dans un tirant, les liens ne serviront à rien. En effet, sur le tirant, **fig. 31**, les forces F_1 agissant par *extension*, tendent par conséquent à écarter les deux parties A et B que l'on s'est proposé de réunir.

Or, il est évident, que dans ce cas, **fig. 34**, la seule résistance à la rupture se réduit aux fibres très-courtes *ac*, suivant lesquelles les parties triangulaires *acu* se rattachent aux parties A et B de la pièce; et l'on comprend, que si un seul des deux crochets *acu* vient à être arraché comme on le voit figure **31**, les liens *mn* n'opposeront plus aucun obstacle au mouvement des deux pièces A et B dans la direction des forces F_1 par lesquelles elles sont sollicitées.

86. Nous conclurons de ce qui précède, que si le trait de Jupiter peut quelquefois être employé sans inconvénient pour réunir les deux parties d'un *entrait*, il ne vaut absolument rien pour assembler les parties d'un *tirant;* que par conséquent, si l'on croit pouvoir employer cet assemblage pour les moises supérieures d'un pont en treillis, on doit le rejeter d'une manière absolue lorsqu'il s'agit de réunir les moises inférieures ou longerons, à moins, que ces pièces ne soient doublées par d'autres, ou fortifiées par des plaques de fonte solidement boulonnées, comme on le voit sur la figure **36**; et, dans tous les cas, les joints rectangulaires projetés sur les figures **14**, **41** et **36** seront encore préférables.

87. Quelquefois, il sera utile d'augmenter le nombre des moises horizontales, et l'inspection de la figure **6** suffira sans

doute pour faire comprendre combien chaque pan de bois sera fortifié, d'abord, par les quatre couples de moises inférieures et supérieures; ensuite, par le garde-fou que l'on peut considérer lui-même comme un second pan de bois qui, en augmentant la hauteur du premier, contribue par conséquent à en accroître la force.

88. Les pans de bois en treillis ne sont pas les seuls que l'on puisse appliquer à la construction des ponts biais; et toutes les fois qu'une ferme *auc*, **fig. 1**, **pl. 6**, aura un *tirant*, on pourra la poser sur les culées ou sur les piles dans telle direction que l'on voudra (50). Les solives qui supportent le plancher *mm* seront posées sur les tirants, **fig. 2**, et les fermes seront contreventées comme dans un comble ordinaire, par les faitages horizontaux *uu*, *u'u'*.

Il ne peut donc entrer dans le plan de cet ouvrage de donner la description de tous les combinaisons qui peuvent remplir le but que l'on se propose d'atteindre, et quelques exemples remarquables suffiront pour indiquer dans quel sens les ingénieurs doivent diriger leurs études.

89. Au lieu de réunir tous les tirants en un seul, comme nous l'avons vu sur les deux planches précédentes, on peut rassembler les arbalétriers. Ainsi, par exemple, **fig. 4**, si l'on superpose les fermes *a*-1-*c*, *a*-2-*c'*, *a*-3-*c''*, etc., on aura une ferme composée dont l'arbalétrier *as* sera la réunion des arbalétriers *a*-1, *a*-2, *a*-3, etc.

Les poinçons 1-*o*, 2-*c*, 3-*c'*, etc., et les tiges verticales *mm* empêcheront la flexion du tirant *ao*, et soutiendront par suspension les pieds des arbalétriers 1-*c*, 2-*c'*, 3-*c''*, etc., qui à leur tour empêcheront la flexion des arbalétriers principaux *as*.

On peut remplacer ces arbalétriers par des courbes, et l'on aura la ferme AMO dont on n'a conservé que la moitié sur la figure 3.

Cette ferme appartient à un pont droit construit sur la Delaware à Trenton.

Ce pont est à deux voies et se compose de cinq fermes. Les

trois fermes intérieures, plus fortes que les deux autres, contiennent entre elles, deux chemins pour les voitures; les espaces compris entre ces fermes et les fermes des têtes sont réservés au passage des piétons. La disposition de ces voies et des planchers, est exprimée par une coupe que l'on trouvera dans le numéro déjà plusieurs fois cité des *Annales* (année 1839).

90. Quelquefois on se contente de réunir les pieds des arbalétriers. Ainsi, la ferme composée qui est représentée sur la figure **6**, peut être considérée comme la réunion des fermes simples *a*-1-*c*, *a*-2-*c'*, *a*-3-*c''*, *a*-4-*c'''*, etc.

Cette ferme fait partie d'un pont biais construit en Amérique sur le Patapsco près d'Ellicots-Mills. On en trouvera une description complète dans le 4e cahier des *Annales*, juillet et août 1847.

Dans cet exemple, l'ingénieur a rassemblé les pieds des seize jambes de force ou contre-fiches qui remplissent ici les fonctions d'arbalétriers pour les deux fermes adjacentes, dans un seul sabot en fonte représenté en perspective sur la figure **7**.

La figure **5** est la perspective de l'un des sabots qui remplissent les mêmes fonctions sur les culées.

91. Je terminerai ces études des ponts biais en bois, par les projections, **fig. 9, 11** et **14**, du pont construit à Harpers-Ferry, entre la côte de Cumberland et le canal de la Chesapeak à l'Ohio. La figure **11**, extraite du numéro que nous venons de citer, contient un peu après la seconde pile, en allant de gauche à droite, le point de jonction du chemin de fer droit AC de Winchester au Potomac, avec le chemin COD en ligne courbe qui se dirige vers le Cumberland.

Chaque raie est indiqué sur ce plan par un simple trait, les pièces *vu*, VU, sont les solives en charpente qui supportent le plancher KH, **fig. 9**, et les pièces ombrées *mn* sont les tirants ou longerons sur lesquels s'appuient les solives dont nous venons de parler. Ces fermes, au nombre de deux seulement pour chaque chemin, sont composées comme on le voit sur la figure **9**, qui est la projection verticale d'une partie de la ferme *mn*, **fig. 11**.

Les pieds des arbalétriers sont assemblés dans deux sabots de fonte réunis et boulonnés comme on le voit par la perspective, **fig. 10**. Ces deux sabots ont une projection verticale commune, **fig. 8**. La figure **15** est la perpective d'une plaque en fonte *vu* placée, **fig. 10**, entre les longerons L et L', avec lesquels elle est solidement boulonnée.

92. Ainsi, les ponts en charpente ne sont autre chose que de grandes fermes formées par la réunion de fermes plus simples. Dans les unes, **pl. 4** et **5**, on a réuni les tirants, tandis que dans d'autres, **pl. 6, fig. 3**, on a réuni les arbalétriers ou simplement leurs pieds comme on le voit, **fig. 6**. Mais, dans tous les cas, le but principal était d'éviter la poussée sur les piles et l'on y est évidemment parvenu pour les ponts projetés sur les figures **6** et **9**, en ramenant tout au principe général énoncé au numéro 50. Mais il n'en est pas ainsi pour les fermes du pont qui est projeté, **fig. 3**, et malgré les éloges donnés à ce système par M. l'ingénieur Stevenson, je ne crois pas que cette combinaison soit irréprochable. En effet, on sait que dans une ferme, simple ou composée, toutes les forces se réduisent à deux résultantes dirigées suivant les tangentes aux pieds des grands arbalétriers. Or, dans l'exemple actuel, ces résultantes agissent évidemment sur la pile et pourraient la renverser, si la poussée produite par l'une des fermes n'était pas détruite par la poussée de la ferme adjacente; mais au moment où un convoi est engagé sur l'une des deux travées, l'équilibre n'existe plus et, dans ce cas, il se produit un double effet.

D'abord le poids du convoi agissant sur les tiges verticales, tend à redresser l'arbalétrier en augmentant sa corde; tandis que le même poids, en faisant prendre de la courbure au tablier, diminue la distance horizontale de ses deux extrémités, qui pourront alors s'éloigner des piles, en abandonnant le pied de l'arbalétrier, malgré les liens, dont la disposition, **fig. 3**, ne peut opposer qu'un faible obstacle au mouvement horizontal que nous venons d'indiquer.

93. Cet assemblage est donc évidemment contraire aux principes les plus élémentaires de la charpente; car on sait que, dans la composition d'une ferme, toutes les forces doivent être combinées de manière que la résultante agisse par *extension* suivant la direction du tirant, dont la fonction principale est de s'opposer à l'écartement des arbalétriers, afin de soulager la pile de la pression latérale qui résulterait de cet écartement.

Nous avons fait remarquer plus haut que ce but était rempli par les dispositions indiquées sur les figures **6** et **9**; mais, si l'on veut employer le système de charpente projeté sur la figure **3**, je crois qu'il serait possible de satisfaire à toutes les conditions de sécurité, en adoptant l'assemblage qui est indiqué en projection sur les figures **12** et **13**, et en perspective sur la figure **17**.

94. La figure **12** est le plan, et la figure **13** est l'élévation des longerons L, L′, et des arbalétriers A des deux fermes qui sont projetées, **fig. 3**.

Le tirant est formé par les longerons L et L′. Ces deux pièces, continues suivant la longueur du pont, comprennent entre elles les grands arbalétriers A, dont les pieds sont encastrés dans deux sabots en fonte, désignés sur la figure **13** par une teinte de points. Ces sabots sont en outre dessinés en perspective sur la figure **17**.

Les pieds des arbalétriers sont attachés par des liens à un tasseau B projeté sur la figure **13**, et dessiné en perspective sur la figure **17**. Le sabot S et le tasseau B sont compris entre les longerons L et L′, et toutes ces pièces sont réunies par six boulons, qui traversent des plaques de fonte désignées par les lettres *mn* sur les figures **12** et **13**.

Pour fortifier les longerons L et L′, et racheter la différence de hauteur qui existe entre ces pièces et les tasseaux B, on doublera chacun des deux longerons par une pièce D, indiquée en projection sur la figure **13**, et en perspective sur la figure **17**.

Ces pièces, **fig. 15**, sont réunies par des liens et par les

six boulons qui traversent chacune des plaques de fonte *mn*; trois de ces boulons pénètrent dans le tirant, et les trois derniers dans la pièce D. On voit sur la figure **17**, les entailles ou *embrèvements* destinés au logement des liens qui réunissent le tasseau B avec le pied de l'arbalétrier. La figure **16** est la perspective de la pièce D, à laquelle je suppose que l'on a donné quartier pour mieux faire comprendre la forme de ces embrèvements.

Si l'on exécute ces entailles avec précision, elles rempliront un double but. D'abord, elles empêcheront les écrous de se dévisser; ensuite, l'encastrement des liens entre le tasseau B, le longeron L et la pièce D, détruira le frottement qui pourrait exister entre ces pièces au moment du passage des trains.

95. Dans cet assemblage, la résultante qui agit au pied de chaque arbalétrier, et suivant la direction de sa tangente, se décompose en deux forces, dont l'une verticale, est détruite par la pile, tandis que la composante horizontale tend à faire glisser le pied de l'arbalétrier : mais cette force sera évidemment transmise aux longerons L et L' par les boulons qui traversent les plaques de fonte *mn*, **fig. 12** et **13**, et sera en outre combattue par la pièce de bois M placée entre les deux sabots, comme on le voit en projection figure **13**, et en perspective, **fig. 17**. Ainsi toutes les forces viendront se composer suivant la direction du tirant, et aucune action oblique ne sera exercée sur la pile.

96. De plus, tout cet assemblage peut facilement être démonté sans interrompre le service. Dans ce cas, on commencerait par détacher les liens qui réunissent les longerons avec leurs doublures, on ôterait ensuite les plaques de fonte *mn*, et les deux longerons L et L'; on pourrait alors faire tourner les écrous et enlever les liens qui réunissent le tasseau B avec le pied de l'arbalétrier. Puis, après les réparations nécessaires, on replacerait le tout en suivant un ordre inverse.

97. Cintres, décintrement. La construction des ponts en pierres exige des cintres dont la forme est déterminée par celle de la voûte qu'ils sont destinés à soutenir. Il sera donc convenable de placer l'étude des cintres biais après les ponts biais en charpente.

Ensuite, la forme adoptée pour le cintre étant déterminée par les moyens que l'on se propose d'employer pour le décintrement, nous devons d'abord entrer dans quelques détails sur cette partie importante du problème à résoudre.

Ce que que nous avons à dire ici, étant indépendant de l'obliquité, nous supposerons qu'il s'agit de décintrer l'une des arches d'un pont dont une partie est projetée sur les figures **9**, **15**, **11** et **17** de la planche **7**.

La charpente du cintre est composée de deux parties. La première, **fig. 9**, **19** et **20**, consiste en quatre files de pieux accouplés et solidement enfoncés dans le sol, parallèlement aux piles; chacune de ces files est couronnée par une pièce ou semelle horizontale DD, **fig. 10**, **19** et **20**.

La seconde partie AHA du cintre, **fig. 9** et **11**, est indépendante de la première sur laquelle elle est posée sans attaches.

Pendant la construction de la voûte, cette seconde partie du cintre doit être maintenue par des cales B, **fig. 5**, à la hauteur qui est indiquée sur l'épure, **fig. 11**; mais lorsque la voûte est terminée, on retire les cales B et l'on fait descendre la partie supérieure du cintre jusqu'à ce que la face inférieure *vu* de la sablière ou semelle AA, **fig. 5**, vienne coïncider avec la face supérieure *mn* de la pièce horizontale DD, qui est solidement fixée au-dessus de la file de pieux P, **fig. 9** et **10**.

Par suite de cet abaissement, la voûte étant privée de soutiens, les voussoirs obéissent aux lois de la pesanteur; leur pression sur les joints fait refluer les mortiers dans les vides négligés au moment de la pose, et l'équilibre s'établit d'une manière définitive. C'est dans l'opération que nous venons de décrire, que consiste ce que l'on appelle *décintrement*.

Cette opération délicate exige beaucoup de soins et doit être faite lentement; il faut que toutes les parties du cintre descen-

dent avec une vitesse uniforme; car il est évident que si quelques voussoirs étaient brusquement abandonnés aux lois de la pesanteur, tandis que d'autres seraient encore retenus par le cintre, il pourrait en résulter la ruine du monument, ou tout au moins, dans la douelle, des solutions de continuité difficilement réparables.

98. Cales. Dans l'origine, on se contentait de détruire à la hache, les cales B placées provisoirement et pendant la construction entre les pièces horizontales A et D, **fig. 6**. Pour éviter les mouvements brusques, on plaçait à côté des premières cales B, d'autres cales moins élevées B′, puis on évidait les premières cales en forme de coins, comme on le voit, **fig. 7**. Lorsque les parties amincies *u* des cales B, n'avaient plus assez de force pour supporter le poids du cintre et de la voûte, elles s'écrasaient ou on les renversait d'un coup de hache et le cintre descendait sur les cales B′, que l'on détruisait à leur tour. Ce qui faisait descendre le cintre sûr d'autres cales plus basses B″, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il y ait entre la voûte et le cintre, **fig. 9**, un espace suffisant pour que l'on puisse retirer les couchis.

99. Coins. Dans cette opération, on ne pouvait pas toujours empêcher les mouvements brusques provenant de ce que quelques cales étaient ruinées ou écrasées plus rapidement que d'autres, et pour éviter cet inconvénient, on a remplacé les cales B, **fig. 6** et **7**, par des *coins* C et C′, disposés comme on le voit, **fig. 8**.

Si l'on chasse avec une masse le coin C′ jusqu'à ce qu'il vienne prendre la position C″, la pièce horizontale A et par suite la partie supérieure du cintre, descendra de toute la hauteur *ac*, que l'on pourra toujours déterminer à volonté suivant l'espace qui sera nécessaire pour retirer les couchis.

Pour plus de prudence, et dans la crainte que le coin C′ ne soit chassé trop brusquement, on pourra, comme précédem-

ment, placer des cales B′, B″ que l'on ruinera successivement à mesure que le cintre descendra.

C'est en cela que consiste la méthode qui était généralement employée pour décintrer les voûtes. Mais l'opération ne réussit pas toujours aussi facilement. Dans les grands cintres, la pression verticale étant considérable, les surfaces des coins se *grippent*, les parties dures de l'un pénètrent entre les fibres de l'autre, et l'on ne peut plus faire glisser l'un des coins sur l'autre. M. Baudemoulin, dans un article des *Annales* (*septembre* et *octobre* 1849), cite plusieurs exemples dans lesquels cette difficulté s'est produite. Pour la surmonter, on a successivement employé plusieurs méthodes.

100. Verins. Quelques ingénieurs ont placé entre les deux pièces horizontales AA, DD, **fig. 20** et **3**, un certain nombre de *verins* qui, manœuvrés avec ensemble, permettent d'abaisser et même si cela devenait nécessaire, de relever le cintre avec la plus grande régularité.

La figure **4** représente un verin; les deux vis qui pénètrent dans l'écrou sont taraudées en sens contraire, d'où il résulte qu'en faisant tourner l'écrou avec des barres de cabestan, ces deux vis entreront ou sortiront ensemble de l'écrou et par conséquent les semelles A et D se rapprocheront ou s'éloigneront suivant le sens dans lequel on tournera. En taraudant les deux vis dans le même sens, mais avec des pas différents, on obtiendra un mouvement différentiel aussi lent que l'on voudra.

101. Plates-formes hélicoïdales. M. l'ingénieur Pluyette a décintré les arches du grand pont de Nogent-sur-Marne, au moyen de plates-formes figurées en projection sur les figures **1** et **2**. Cet appareil se compose de deux parties. La première, **fig. 2**, est immobile et fixée solidement à la semelle D. La seconde partie, projetée **fig. 1**, tourne autour d'un axe vertical *ac* en s'appuyant sur trois galets G, placés dans les encastrements correspondants de la plate-forme inférieure, **fig. 2**.

La face supérieure de la plate-forme mobile, **fig. 1**, est une surface hélicoïdale dont le pas peut être aussi faible que l'on voudra, chacun des poinçons U de la partie supérieure du cintre est prolongé au-dessous des moises horizontales AA, et armé d'un sabot à roulette qui s'appuie sur la face hélicoïdale de la plate-forme tournante; et, selon le sens communiqué à cette plate-forme, on pourra faire descendre ou remonter la partie supérieure du cintre.

102. Sable. M. Baudemoulin, après avoir reconnu les inconvénients des coins pour le décintrement des grandes voûtes, les a remplacés par des sacs remplis de sable placés comme on le voit, **fig. 14**, entre les deux pièces horizontales AA, DD. Il ne s'est décidé à faire une application pratique de cette méthode qu'après l'avoir expérimentée avec le plus grand soin, par le moyen de la presse hydraulique. Le sable dont les sacs sont remplis doit être soumis à une forte chaleur, afin de lui faire perdre l'humidité qui s'opposerait à son écoulement. C'est par la même raison, que les sacs ne sont placés qu'au moment du décintrement, entre les deux semelles horizontales AA, DD, dont l'écartement, pendant la construction de la voûte, est maintenu par les cales B.

Lorsque l'on veut décintrer, on place d'abord les deux coins C et C′, la planche horizontale *mn* et le sac S; puis, en frappant les coins sur leurs têtes, on fait monter la planche *mn* et le sac, jusqu'à ce que ce dernier soit fortement pressé par la pièce horizontale AA, ce que l'on reconnaît facilement à la dureté que cette opération lui fait acquérir. On peut alors faire disparaître les cales que l'on renverse d'un coup de hache après les avoir taillées en biseau comme on le voit, **fig. 7**; puis on procède au décintrement en dénouant les cordons qui ferment les ouvertures latérales des sacs.

La grande pression exercée sur le sable, produit quelquefois une agglomération qui s'oppose à l'écoulement; cela provient de ce que les grains s'arcboutent comme les voussoirs d'une voûte, ou comme dans une grande foule, lorsque tout le monde veut

passer à la fois par une ouverture trop étroite. Il suffit, dans ce cas, d'agiter un peu le sable avec une espèce de tige ou de cuillère qui doit toujours être sous la main de l'ouvrier chargé de la manœuvre du sac.

103. Tubes en caoutchouc. Cet arrêt momentané qui peut se produire pendant l'écoulement du sable contenu dans certains sacs, tandis que d'autres se videront sans difficulté, est d'autant plus à craindre qu'il ne peut avoir lieu qu'au commencement du décintrement; et, par conséquent, au moment où la voûte est encore soutenue par le cintre, pendant le temps nécessaire à la compression des mortiers. Il est donc absolument nécessaire que le *commencement* du mouvement se fasse avec la plus grande régularité. C'est pour obtenir ce résultat que M. l'ingénieur Lagrenée a proposé de placer à l'intérieur de chaque sac, **fig. 13**, un tube en caoutchouc, rempli d'eau et muni d'un ajutage en buis avec robinet.

On commencera le décintrement, en faisant d'abord couler l'eau, qui n'éprouvera aucune difficulté; et, lorsque le cintre aura quitté la voûte, l'écoulement du sable produira l'abaissement nécessaire pour que l'on puisse facilement retirer les couchis.

104. Cylindres. La méthode précédente ne paraît pas avoir été reçue favorablement par les ingénieurs qui ont eu l'occasion de décintrer de grandes arches. Ils préfèrent remplacer les sacs par des cylindres en forte tôle, semblables à celui qui est dessiné en projections sur les figures **21** et **22**. Chacun de ces cylindres est fixé solidement sur une plate-forme quarrée *mn*, qui en augmente la stabilité et dont les parties angulaires ont d'ailleurs une destination dont nous parlerons bientôt. Quatre ajutages, désignés par la lettre *a* et dirigés suivant les diagonales du quarré, serviront pour l'écoulement du sable.

La pression produite par le poids du cintre, et par le tassement de la voûte sera communiquée au sable renfermé dans chaque cylindre par un piston bien ajusté, P.

Pour que le sable ne puisse pas contracter d'humidité, on pensait ne placer les cylindres entre les deux semelles qu'au moment du décintrement, en laissant aux cales le soin de soutenir le cintre et la voûte pendant tout le temps de la construction; puis en faisant couler le sable des cylindres jusqu'à ce que le cintre, après avoir quitté la voûte, soit arrivé sur les cales, on aurait successivement retiré les cylindres et ruiné les cales jusqu'à ce que le cintre soit suffisamment descendu. Mais on a reconnu depuis, par le succès constant de grands décintrements, que l'on pouvait placer les cylindres C immédiatement après la pose de la semelle horizontale DD, **fig. 10, 20** et **12**. On posera ensuite les semelles AA sur les têtes des pistons, sans aucun assemblage, puis l'on construira la partie supérieure du cintre comme à l'ordinaire, et sans qu'il soit nécessaire de placer des cales entre les deux semelles AA et BB. On pourra cependant, pour plus de stabilité, pendant la construction du cintre, relier les deux semelles horizontales, **fig. 20**, par des moises M, ou par des boulons B, que l'on enlèvera un peu avant le décintrement, pour faciliter l'abaissement de la partie mobile du cintre.

Pour garantir le sable contre l'humidité de l'atmosphère, contre les crues, ou enfin contre l'eau que les ouvriers laissent couler en posant les voussoirs; on se contente, pendant la construction, de garnir l'espace compris entre le piston et le bord supérieur du cylindre, par un bourrelet de plâtre ou de matière grasse, que l'on enlève au moment du décintrement.

105. Pour régler le mouvement, on donnait une mesure d'un demi-litre à chacun des ouvriers préposés à la manœuvre d'un sac, et lorsque cette mesure était remplie toutes les ouvertures devaient être fermées en même temps; puis ouvertes un instant après à un signal donné. Mais lorsque l'on emploie les cylindres, le mouvement se régularise de lui-même, et voici comment :

Le sable qui s'écoule par chacun des orifices *a*, **fig. 22**, s'amasse sur la partie angulaire de la plate-forme, **fig. 23** et **24**, sous la forme d'un petit cône *u*, dont la hauteur augmente jusqu'au moment où le sable amoncelé parvient à bou-

cher l'orifice. Alors l'écoulement cesse aussitôt, et le mouvement s'arrête.

Il suffit, pour reprendre l'opération, qu'à un signal donné, on fasse tomber à la fois tous les petits cônes qui bouchaient les orifices.

Le temps plus ou moins long, pendant lequel devra durer l'écoulement, dépendra donc de la hauteur du cône, et, par conséquent, de la distance entre l'orifice et la face supérieure de la plate-forme.

106. M. Beaudemoulin reproche aux cylindres employés sans les cales, de limiter l'abaissement du cintre à la hauteur du sable écoulé. Ce qui peut n'être point suffisant pour que l'on puisse facilement retirer les couchis; et pour faire disparaître cette difficulté, il propose l'emploi combiné des cylindres et des sacs; c'est-à-dire que l'on placerait un sac à côté de chaque cylindre. En faisant couler d'abord le sable contenu dans les cylindres, le cintre se détachera de la voûte, et lorsqu'il reposera sur les sacs, le mouvement s'arrêtera. On laissera couler encore un peu de sable pour faire baisser les pistons, afin de pouvoir retirer les cylindres; puis, on ouvrira les sacs dont on laissera couler le sable jusqu'à ce que les deux semelles ne soient plus séparées l'une de l'autre que par l'épaisseur de la toile des sacs entièrement vides. Il est évident que par ce moyen on obtiendra, entre le cintre et la voûte, **fig.** 9, un espace assez grand pour faciliter le démontage des couchis.

107. Je ne prolongerai pas plus loin l'étude de la question incidente qui vient de nous occuper; ce qui précède ne suffirait peut-être pas si j'écrivais un traité des ponts en général. Mais il ne faut pas oublier qu'il ne s'agit ici que des ponts obliques, et que je n'ai rappelé au lecteur le point où est arrivé la théorie du décintrement, qu'afin de motiver la forme des cintres que nous avons choisie pour exemple sur les figures **9** et **11.**

D'ailleurs, je ne pourrais que répéter ce qui a été dit avant

moi, et beaucoup mieux, par les habiles ingénieurs qui ont imaginé les méthodes que nous venons d'exposer. Je renverrai donc, pour la discussion de ces méthodes aux articles publiés par MM. Beaudemoulin, Desnoyers, Girard de Caudemberg, Trilleau, Magdelaine, Bouziat et Dupuit, dans les numéros de *nov.* 1853, 15 *oct.*, 15 *nov.*, 29 *déc.* 1855, 1^er^ *janv.* et 15 *juin* 1856 du journal *l'Ingénieur* ou dans les 5^e^ *cahier* 1849, 5^e^ *cah.* 1852, 5^e^ *cah.* 1854, 2^e^ et 5^e^ *cah.* 1856 et 5^e^ *cah.* 1857, des *Annales des ponts et chaussées*. Je me contenterai de constater que pour l'instant, c'est la méthode des cylindres qui paraît reçue avec le plus de faveur par les praticiens.

103. Je ferai remarquer cependant que toutes les méthodes successivement employées se rattachent à deux principes élémentaires de la plus grande simplicité. Ainsi les verins de M. Dupuit et les plates-formes hélicoïdales de M. Pluyette ne sont autre chose que des coins circulaires, et par conséquent, des applications du *plan incliné*, tandis que les décintrements par le sable sont des applications du principe de la *presse hydraulique*. Les sacs, et surtout les cylindres, ne sont autre chose que des presses dans lesquelles l'eau aurait été remplacée par le sable. La facilité avec laquelle le mouvement est arrêté par le petit cône amoncelé devant l'orifice, provient évidemment de ce que la pression qui a pour mesure la section droite de cette ouverture, fait équilibre à la pression considérable exercée par la face inférieure du piston; d'où il résulte que l'on pourrait remplacer par de l'eau le sable qui est dans chaque cylindre.

Il resterait encore la difficulté de faire manœuvrer ensemble les ouvriers chargés d'ouvrir les robinets; mais on pourrait, au moment qui précède le décintrement, visser à chaque presse un tuyau flexible et faire aboutir tous ces tuyaux à un réservoir commun, qui n'aurait qu'un seul robinet; de sorte qu'un seul ouvrier, en ouvrant ou fermant ce robinet, pourrait à volonté produire ou arrêter le mouvement qui se ferait alors avec la plus grande régularité.

La figure 28 est l'un des cylindres dont le robinet r est fermé

et la figure **29** est un cylindre auquel on a vissé l'un des tuyaux conducteurs. Un petit tube vertical *m* permettra de remplir chaque tuyau; puis, avant de procéder au décintrement, on fermera le robinet *a* et l'on ouvrira le robinet *c*.

On pourrait encore remplir les tuyaux de conduite en ajustant une pompe foulante au réservoir commun; dans ce cas, le tube *m* serait un *évent* que l'on fermerait lorsque l'eau refoulée commencerait à sortir par l'extrémité supérieure du tube. Enfin, la pompe foulante, agissant comme dans la presse hydraulique, pourrait servir à remonter le cintre dans le cas où cela deviendrait nécessaire; et, si l'opération était trop lente, on pourrait ajuster plusieurs pompes au réservoir commun.

Je sais bien que l'on objectera la dépense qui serait nécessaire pour établir ces appareils; mais cette dépense une fois faite, les cylindres ne seraient pas plus embarrassants que ceux qui sont actuellement en usage. On pourrait facilement les transporter partout où cela serait utile et la même *batterie* servirait par conséquent pour le décintrement de tous les ponts.

Au surplus, je n'indique cette méthode que comme une étude à faire et à discuter.

109. Si l'on a bien compris ce qui précède, on se rendra facilement compte des raisons qui déterminent la forme des cintres que nous prenons ici pour exemples.

Nous supposerons, dans le cas actuel, qu'il s'agit d'un pont oblique dont la section droite circulaire est rabattue, **fig. 9**.

Le cintre, **fig. 17**, se compose de fermes semblables à celle qui est projetée **fig. 11**.

Ces fermes, également espacées, seront liées entre elles et contreventées par les moises horizontales *mm*, **fig. 17**, et l'on pourra augmenter la rigidité de l'ensemble, par des moises diagonales, *vu*, qui relieraient entre eux tous les poinçons.

110. Cela étant admis, il reste à résoudre une difficulté qui dépend de l'obliquité de la voûte.

On sait que la partie courbe du cintre peut être formée par les pièces mêmes des fermes, ou par d'autres pièces additionnelles que l'on nomme *veaux*, et que l'on place sur les arbalétriers droits avec lesquels ils sont fortement reliés. Or, quel que soit le moyen employé, il est évident que si les fermes sont semblables à celles dont on fait usage dans un pont droit, la surface cylindrique *ac*, formant l'extrados des cintres, **fig. 18**, ne sera pas parallèle à la surface d'intrados AC de la voûte ; que, par conséquent, les couchis ne s'appuieront que sur les arêtes *ao*, *a'o'* du cintre, et que ces arêtes seront promptement écrasée par la pression provenant du poids considérable de la voûte.

La difficulté que nous venons de signaler peut être évitée de plusieurs manières.

111. 1re *méthode.* Supposons que l'un des cintres soit transporté, **fig. 30**, sur laquelle, pour plus de clarté, nous avons augmenté l'épaisseur. On déterminera d'abord la projection horizontale *acac* du cintre que l'on veut obtenir, de manière que l'espace compris entre les droites *ac* et AC soit égal à l'épaisseur des couchis et du revêtement en voliges qui doit les envelopper. On pourra tailler ensuite les surfaces extrados-sales du cintre suivant une surface cylindrique dont la génératrice *ac* serait parallèle à l'intrados AC de la voûte et qui aurait pour directrice une courbe que l'on obtiendrait en portant la distance *cu* sur chacune des normales à l'arc de tête.

112. 2e *méthode.* On peut éviter les angles aigus des points *a* en donnant au cintre la forme déterminée par la projection horizontale *uoauoa*, **fig. 31**. Dans ce cas, la surface extradossale du cintre sera formée par quatre cylindres qui auraient pour génératrices les deux droites *uo* perpendiculaires aux plans des têtes, et les droites *ac* parallèles à l'intrados de la voûte.

Les directrices *oo'* de ces cylindres s'obtiendraient comme ci-dessus, et les points *u'*,*o'*,*u'*,*o'* seraient les sommets d'une petite facette plane située au-dessous de la clef.

113. 3e *méthode.* On pourra former les parties extérieures des cintres par des planches assemblées de champ, comme on le voit **fig. 32.**

Ces planches, taillées suivant la courbure du cintre, et disposées en retraite, formeraient une surface cylindrique sur laquelle on placerait les couchis.

114. Ces trois méthodes et celle plus fréquemment employée, qui consiste à laisser aux cintres la forme qui conviendrait à un pont droit, ont un grave défaut.

En effet, la résultante des pressions produites par les pierres que l'on posera en A, **fig. 32,** sera perpendiculaire à la trace du plan tangent au cylindre d'extrados du cintre, et dirigée, par conséquent, dans le sens indiqué par la flèche F, tandis que la résultante des pressions produites par les pierres posées en A′, sera dirigée suivant la flèche F_1 Or les deux forces F et F_1 égales et parallèles, se composeront en un couple de rotation, dont l'axe sera la verticale du point O, et ce couple aura évidemment pour effet de faire gauchir le cintre. C'est ce qui arrive, en effet, dans la construction des ponts biais; et l'on a remarqué que du côté de l'angle obtus *a*, les cintres sont repoussés au dehors, tandis que du côté de l'angle aigu *c*, ils tendent à rentrer dans l'intérieur de la voûte, c'est pourquoi pendant la construction on est souvent obligé, malgré les moises horizontales *vu*, **fig. 17**, d'étançonner les cintres du côté de l'angle obtus *a*, **fig. 32**, tandis que, du côté de l'angle aigu *c*, pour empêcher les pierres de glisser sur la partie inclinée A, on les relie souvent à la masse principale par des tirants disposés comme on le voit sur la figure **16**; précaution qui deviendrait inutile, si l'on adoptait les joints cylindriques que j'ai indiqués au chapitre V des ponts biais en pierres.

115. Je crois donc que dans un pont dont le biais serait très-prononcé, il sera préférable d'employer des cintres droits, placés parallèlement à la section droite du cylindre, comme on le voit **fig. 9.** Dans ce cas, il est évident que toute la partie hexa-

gonale *aoa'aoa'*, **fig. 25**, sera parfaitement en équilibre sur le cintre et qu'il ne restera plus, qu'à soutenir, pendant leur construction, les parties triangulaires *aoc*, ce qui pourra se faire de la manière suivante :

On placera un cintre elliptique *a'oc* pour former l'arc de tête, et, pendant la construction, on combattra la poussée produite sur le cintre par la partie triangulaire *aoc* de la voûte, **fig. 26** et **27**, par des étançons ou jambes de force *vu*, dont les pieds *u* seraient appuyés sur le sol. Puis, lorsque la voûte sera terminée, et que les mortiers auront acquis la consistance suffisante, on pourra supprimer d'abord les jambes de force *vu*, et procéder au décintrement par les moyens ordinaires. Enfin, on pourrait prolonger le cintre, comme cela est indiqué sur la figure **25**, par la ligne ponctuée *acc'a';* puis, pendant la construction de la voûte, on chargerait la partie triangulaire *a'oc'* du cintre avec des matériaux dont le poids serait égal à celui de la partie de voûte *aoc*.

FIN DES PONTS BIAIS.

TABLE DES MATIÈRES

POUR LES PONTS BIAIS.

Pages.

Pl. 1. — Pont destiné aux piétons et voitures ordinaires. 2
Pl. 2. — Étude des moises. — *Épure*. 4
Pl. 3. — Pont en charpente pour chemin de fer. 9
Pl. 4. — Ponts en treillis. 23
Pl. 5. — Exemples divers de ponts en treillis. 31
Pl. 6. — Ponts américains. 47
Pl. 7. — Cintres, décintrement. 52

FIN.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Ce, rue Racine, 26.